

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Univerzitní studijní programy

Katedra automatizační techniky a řízení

Světelné zabezpečovací zařízení letiště

Lighting Security Equipment of the Airport

Student:

Rostislav Řehák

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student:

Rostislav Řehák

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R006 Mechatronické systémy

Téma:

Světelné zabezpečovací zařízení letiště
Lighting Security Equipment of the Airport

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište stávající stav světelného zabezpečovacího zařízení letiště, zaměřte se na způsob komunikace a ovládání intenzity osvětlení drah. Zvažte možnosti inovace tohoto systému.
2. Dle parametrů výrobce jednotlivých komponent světelného zabezpečovacího zařízení letiště specifikujte jejich vlastnosti a vytvořte modely (popisy) těchto zařízení.
3. S využitím těchto modelů pro vybrané části proveďte simulaci a výsledky této simulace porovnejte s daty reálného měření.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhnete směr dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

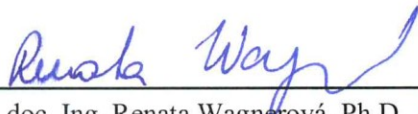
HRBÁČEK, Jiří. *Moderní učebnice programování jednočipových mikrokontrolérů PIC* [CD-ROM]. 2. díl, Stavíme se na vlastní nohy. Praha: BEN - technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-137-7.
HUMLHANS, Jan. *Zajímavá zapojení: inspirace konstruktérům* [CD-ROM]. 4. díl, Zapojení s diodami LED, zapojení s optočleny, různá zapojení, rejstřík. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-153-5.
MARGOLIS, Michael. *Arduino cookbook*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, c2012. ISBN 978-1-449-31387-6.
ATTAWAY, Stormy, 2012. *MATLAB: a practical introduction to programming and problem solving*. 2nd ed. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann. ISBN 978-0-12-385081-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry




Ing. Zdeňka Chmelíková, Ph.D.
prorektorka pro studium

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5.2018

Řehák Rostislav

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představenství a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21.5.2018

Řehák Rostislav

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Rostislav Řehák

Adresa trvalého bydliště:

Ostravská 80, Sviadnov 739 25

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Jaromíru Škutovi, Ph.D. a kolektivu pracovníků firmy Transcon Elektronik Systems, spol. s r.o. za pomoc a podporu při vypracování této práce.

Anotace

ŘEHÁK, R. *Světelné zabezpečovací zařízení letiště: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, Katedra automatizační techniky a řízení, 2018, 55 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a testováním simulačních modelů v programu PSpice pro jednotlivé komponenty světelných zabezpečovacích zařízení letištních ploch a heliportů. V úvodu jsou popsána stávající zabezpečovací zařízení letiště se zaměřením na způsob komunikace, ovládání intenzity a rozmístění návěstidel na letištních plochách. Následuje popis jednotlivých komponent, jejich principy činnosti a technické parametry. Poté jsou uvedeny možnosti inovace těchto světelných zabezpečovacích zařízení. Na základě technických parametrů jsou dále provedeny simulace jednotlivých komponent. Vybraná simulace je ověřena kontrolním měřením na skutečných komponentách světelných smyček. V závěru jsou porovnány výsledky a je pojednáno o dalším možném postupu práce.

Klíčová slova: světelné zabezpečovací zařízení, komunikace, simulace

Annotation

ŘEHÁK, R. *Lighting Security Equipment of the Airport: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, University Study Programmes, Department of Control Systems and Instrumentation, 2018, 55 p. Thesis head: doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

This Bachelor thesis describes design and testing of the simulation models for individual components of lighting security equipment of airports and heliports in Pspice application. In the first part are described the existing airport security equipment, focusing on the way of communication, intensity control and lighting deployment on airport areas. It is followed by a description of each component, its principles of operation and technical parameters. The possibilities for upgrading these lighting security devices are listed below. Based on the technical parameters, simulations of individual components are also performed. Selected simulation is verified by checking the actual light loop components. At the end, the results are compared and other possible work processes are discussed.

Key words: lighting security equipment, communication, simulation

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Seznam použitých symbolů a značek	11
Úvod	12
1 Světelná zabezpečovací zařízení na letištích	13
1.1 Historie	14
1.2 Předpisy a rozdělení letišť do kategorií	14
1.2 Typy soustav světelného zabezpečovacího zařízení	16
1.2.1 Approach	17
1.2.2 Runway	18
1.2.3 Precision Approach Path Indication	20
1.2.4 Taxiway a Apron	22
1.3 Systém napájení světelných soustav	24
1.3.1 Oddělovací transformátory	25
1.3.2 Primární vedení	26
1.3.3 Sekundární vedení	27
1.3.4 Regulátor konstantního proudu	28
1.4 Možnosti inovace světelného zabezpečovacího systému	30
2 Simulace v programu PSpice	33
2.1 PSpice Schematic 16.3	34
2.2 Komponenty světelného zabezpečovacího zařízení letiště	36
2.2.1 Návěstidla	36
2.2.2 Primární a sekundární vedení	40
2.2.3 Oddělovací transformátor	41
2.2.4 Regulátor konstantního proudu	44
2.3 Simulace regulátoru konstantního proudu s induktivní zátěží	45
2.4 Simulace regulátoru konstantního proudu s odporovou zátěží	46
3 Simulace v programu PSpice a porovnání výsledků s daty reálného měření	48
3.1 Průběh reálného měření VA charakteristiky na světelném návěstidle	48
3.2 Průběh simulace VA charakteristiky	49

3.3 Porovnání výsledků simulace a reálného měření	50
4 Závěr	51
Seznam literatury a použitých zdrojů	53
Seznam příloh	55

Seznam použitých zkratek

ABM	Blok analogového modelování (<i>Analog Behavioral Modeling</i>)
ALCMS	Systém řízení a monitorování letištního osvětlení (<i>Airport Lighting Control & Monitoring System</i>)
ALS	Přibližovací světelný systém (<i>Approach Lighting System</i>)
ASMGCS	Systém řízení letového provozu (<i>Advanced Surface Moving Guidance Control System</i>)
APP	Osová návěstidla a příčky přibližovací soustavy (<i>Approach lights</i>)
ARIWS	Autonomní varovný systém vzletové a přistávací dráhy (<i>Autonomous RWY Incursion Warning System</i>)
ASR	Návěstidla postranních řad přibližovací soustavy (<i>Approach Side Row lights</i>)
CCR	Regulátor konstantního proudu (<i>Constant Current Regulator</i>)
END	Dráhová koncová návěstidla (<i>Runway end lights</i>)
EREX	Zdokonalená osová návěstidla pojezdové dráhy (<i>Enhanced Rapid Exit Taxiway Lights</i>)
FAROS	Systém obsazení dráhy při přiblížení (<i>Final Approach RWY Occupancy Signal</i>)
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví (<i>International Civil Aviation Organization</i>)
IFR	Pravidla letu podle přístrojů (<i>Instrument Flight Rules</i>)
ILS/MLS	Systém přesného přístrojového přiblížení (<i>Instrument Landing System / Microwave Landing System</i>)
LED	Dioda emitující světlo (<i>Light Emitting Diode</i>)
LVP	Postupy pro nízkou viditelnost (<i>Low Visibility Procedures</i>)
PAPI	Návěstidlo pro přesné přiblížení (<i>Precision Approach Path Indication</i>)
PCL	Pilotem řízené osvětlení (<i>Pilot Controlled Lighting</i>).

RCL	Osová návěstidla dráhy (<i>Runway Centerline</i>).
REL	Vstupní návěstidla dráhy (<i>Runway Entrance Lights</i>)
RETIL	Návěstidla pojezdové dráhy pro rychlé odbočení (<i>Runway Rapid Exit Taxiway Indicator Lights</i>)
RGL	Dráhová ochranná návěstidla (<i>Runway Guard Lights</i>)
RMS	Efektivní hodnota (Root Mean Square)
RVR	Dráhová dohlednost (<i>RWY Visibility Range</i>)
RWSL	Indikátor stavu dráhy (<i>RWY Status Light</i>)
RWY	Postranní dráhová návěstidla (<i>Runway Edge Light</i>); označení typu soustavy
SBL	Návěstidla stop příček (<i>Taxiway Stop Bar Lights</i>)
SFL	Sekvenční záblesková návěstidla (<i>Sequenced Flashing Lights</i>)
SMG	Návěstidla pro navádění na stání letadel (<i>Stand Manoeuvring Guidance Lights</i>)
SZZ	Světelné zabezpečovací zařízení
TCL	Osová návěstidla pojezdové dráhy (<i>Taxiway Center Line Lights</i>)
TDZ	Návěstidla dotykové zóny (<i>Runway Touchdown Zone</i>)
THL	Návěstidla konce dráhy (<i>Runway Take-off Hold Lights</i>)
TIL	Prahová poznávací návěstidla (<i>Threshold Identification Lights</i>)
THR	Prahová návěstidla (<i>Runway Threshold lights</i>)
THREND	Návěstidlo začátku a konce dráhy (<i>Runway Threshold/End lights</i>)
TWY	Postranní návěstidla pojezdové dráhy (<i>Taxiway Edge Lights</i>)
VASI	Návěstidlo sklonu pro přiblížení (<i>Visual Approach Slope Indicator</i>)
VFR	Pravidla letu za vidu (<i>Visual Flight Rules Runway</i>)
VPD	Vzletová a přistávací dráha

Seznam použitých symbolů a značek

A	Ampér
g	Koeficient napětí halogenové žárovky
Hz	Hertz
I_{djm}	Proud protékající halogenovou žárovkou při desetině jmenovitého napětí žárovky
I_{jm}	Jmenovitý proud halogenové žárovky
I_{h}	Proud halogenové žárovky
k	Mocnitel napětí halogenové žárovky
km	Kilometr
l	Délka vedení
m	Metr
ms	Milisekunda
R_{km}	Odpor vedení na kilometr
R_{v}	Odpor vedení
s	Sekunda
U_{djm}	Desetina jmenovitého napětí halogenové žárovky
U_{jm}	Jmenovité napětí halogenové žárovky
U_{h}	Napětí halogenové žárovky
V	Volt
Ω	Ohm

Úvod

Jedním z nejdůležitějších zařízení na letištích patří bezpochyby světelná zabezpečovací zařízení, dále jen SZZ. Ta slouží pro navádění letadel na vzletovou a přistávací dráhu a pro pojíždění po letištních plochách. Bez jejich správného fungování nemohou být letiště v provozu, a to zejména v noci nebo za podmínek snížené viditelnosti anebo dohlednosti. S rostoucím počtem letů a zvětšováním provozního zatížení letišť, rostou zároveň i požadavky na SZZ.

Takovými SZZ pro letiště a heliporty se zabývá firma Transcon Elektronik Systems, spol. s r.o. z Frýdku–Místku (dále jen TRANSCON), která mi umožnila spolupráci a poskytla technické prostředky pro vytvoření této práce.

Cílem práce je popsat stávající SZZ, definovat jejich základní rozdělení, parametry podstatných částí SZZ a způsob jejich použití a instalace po plochách letiště a zároveň popsat způsob řízení intenzity osvětlení. Obsahem tohoto popisu je i úvaha nad možnostmi inovací na stávajících SZZ se zaměřením na použití technologie LED.

Navazujícím cílem je vytvořit na základě parametrů, které jsou dány výrobcem nebo jsou získány měřením, simulace vybraných komponent (částí) SZZ. Vybraná simulace je ověřena kontrolním měřením na skutečných komponentách zapojených do světelných smyček. Finálním cílem je provést zhodnocení a porovnání výsledku simulace s daty reálného měření na vybrané části SZZ a zhodnocení celé této práce.

1 Světelná zabezpečovací zařízení na letištích

Jelikož vzlet a přistání jsou nejrizikovějšími částmi letu, má vybavení vzletových a přistávacích drah (dále jen VPD) zásadní důležitost pro bezpečnost letového provozu. VPD jsou vybaveny světelnými zařízeními a dalšími navigačními pomůckami, které umožňují využívání VPD pro vzlety a přistání za zhoršené viditelnosti a/nebo dohlednosti. Šíře tohoto zabezpečení závisí na velikosti letiště, resp. jeho kategorii. Nejmenší letiště, pro sportovní létání (aeroklubová, s travnatou VPD), jsou často vybavena pouze indikátorem směru větru a značkami vyznačujícími okraje VPD.

Protože světelné zabezpečovací zařízení neslouží k osvětlení plochy letiště, nemělo by se používat výrazu „světla/svítidla“ na letištních plochách. Výjimkou jsou flood lights, tj. světla osvětlující stojánku (prostor pro odbavení letadla), proto je pojem „světlo/svítidlo“ nahrazen názvem „návěstidlo“.

Primárním úkolem návěstidel je informovat piloty letadel o poloze místa (práh dráhy, vyčkávací místo, aj.), případně o tvaru/obrysu objektu (VPD, pojezdová dráha, stojánka). Definice, ke kterému objektu je informace vztažena, je dána kódem světla (barva, intenzita světla a úhel vyzařování). Návěstidla jsou používána jako navigační (slouží k navigaci pilota na/po VPD nebo pojezdové dráze), nebo překážková (označují překážky během letu i poježdění – varují pilota, že na trase, nebo v jejím okolí je překážka, např. budova, vysílač, aj.).



Obr. 1.1: Světelné zabezpečovací zařízení (1)

Na některých letištích s menším provozem (travnatá letiště, která neposkytují službu řízení letištního provozu) jsou návěstidla po většinu času vypnuta. V těchto případech mohou být SZZ ovládána vzdáleně pilotem pomocí rádiového vysílání, tak, že na příslušné frekvenci několikrát „zaklíčuje“ (stiskne tlačítko vysílačky) – někdy je také možno ovlivnit intenzitu osvětlení (troje zaklíčování během pěti sekund zapne osvětlení s nízkou intenzitou, patero, resp. sedmero zapne střední, resp. vysokou intenzitu). Schopnost takových SZZ řízených pilotem se označuje jako PCL (Pilot Controlled Lighting).

1.1 Historie

První osvětlení na letišti bylo zprovozněno ve 30. letech minulého století na letišti dnes známém jako Cleveland Hopkins International Airport ve Spojených státech amerických. První návěstidla ukazovala správný směr a úhel sestupu pro přistávající letadla (taková návěstidla jsou dnes označována jako PAPI nebo VASI). Barvy, intenzity svítivosti těchto a dalších návěstidel se postupem času standardizovaly. Vedoucí světovou organizací pro standardizaci v letectví je Mezinárodní organizace pro civilní letectví (dále jen ICAO). (2)

1.2 Předpisy a rozdělení letišť do kategorií

Všechna návěstidla vycházejí ze standardů a doporučení, která vydává ICAO (*International Civil Aviation Organization*) v předpisu Annex 14. Tento předpis přebírají různým způsobem jednotlivé státy, které si ho mohou samostatně upravit. Upravené předpisy států, které patří do organizace ICAO, však nesmí být v rozporu s původním předpisem. V českém zákonodárství tento Annex 14 tvoří letecký předpis L14 a L14H vydávaný Ministerstvem dopravy ČR.

Kromě tohoto dále ICAO publikuje dokument Doc 9157 Aerodrome Design Manual, který je dělen do několika částí zabývajících se jednotlivými odvětvími. Z těchto jsou pro konstrukci, instalaci, údržbu a provoz SZZ nejdůležitější:

- Part 4 Visual Aids (vizuální pomůcky),
- Part 5 Electrical Systems (elektrické systémy),
- Part 6 Frangibility (křehkost).

Rozdělení letišť do kategorií

Rozdělení je založeno na velikosti VPD, meteorologických minimech letiště. Množství světelného zabezpečení, radionavigačních pomůcek a služeb, které letiště poskytuje, se odvíjí od kategorie letiště.

U „malých“ letišť, které se často označují jako NO CAT, to znamená „bez kategorie“, se VPD dělí na VFR RUNWAY nebo IFR RUNWAY.

VFR RUNWAY (*Visual Flight Rules Runway*) – nepřístrojová dráha.

Na tuto dráhu lze přistát pouze v případě, kdy má pilot nepřetržitý vizuální kontakt po celou dobu přiblížení se zemi/VPD. Tyto lety se nejběžněji vztahují k dennímu létání. Proto SZZ pro lety VFR DEN nemají zvláštní význam (během dne se jako navigační pomůcka využívá značení na VPD). Návěstidla malé/nízké intenzity jsou však nutná pro lety VFR NOC (*Night Visual Flight Rules*), což je označení pro pravidla nočního letu prováděného za viditelnosti mezi koncem občanského soumraku a začátkem občanského svítání. Tyto lety však nejsou příliš obvyklé.

NON-PRECISION IFR RUNWAY (*Non Precision Instrumental Flight Rules Runway*) – nepřesná přístrojová dráha.

Za pomoci přístrojů (přístrojové navigace) se pilot dostane do určitého místa/prostoru v blízkosti letiště s tím, že letí přibližně ve směru osy VPD, v tomto prostoru musí pilot navázat vizuální kontakt s VPD, resp. s SZZ na VPD. Po tomto kontaktu dále pokračuje podle pravidel letu VFR.

PRECISION IFR RUNWAY (*Precision Instrumental Flight Rules Runway*) – přesná přístrojová dráha.

Na tyto dráhy se může přistávat i při zhoršených meteorologických podmínkách, kdy počasí neumožňuje let VFR v plném rozsahu. Pilot v průběhu takového letu neřídí letadlo podle výhledu z pilotní kabiny (srovnávací navigace). Takto označené dráhy se dělí do kategorií I, II, III. VPD CAT III se dále dělí na III A, III B a III C. Jednotlivé kategorie určují vzdálenost a výšku od prahu dráhy, ve které by měl pilot navázat vizuální kontakt s VPD. Pokud pilot v daném bodě naváže vizuální kontakt, pokračuje podle pravidel VFR, nemá-li jej, je nucen přerušit přibližovací/přistávací manévry, který musí být opakován nebo je letadlo nasměrováno na jiné letiště kde jsou podmínky pro přistání vyhovující. (3)

Tab. 1: Kategorie letišť s rozdělením nutnosti vizuálního kontaktu s dráhou (4)

Kategorie	Výška rozhodnutí	Minimální dohlednost
CAT I	60 m	min. 550 m
CAT II	30 m	min. 300 m
CAT III A	méně než 30 m	min. 200 m
CAT III B	méně než 15 m	min. 75 m
CAT III C	0 m	0 m

Základní soustavy SZZ, které jsou přítomny na letištích s označením NO CAT a vyšších kategoriích jsou návěstidla rozmístěná kolem VPD. Tedy návěstidla označující okraj VPD, začátek/práh dráhy a konec dráhy, případně pojižděcí dráhy (jsou-li určeny). Z hlediska bezpečnosti provozu jsou podstatná návěstidla světelných sestupových soustav (PAPI/VASI), která jsou povinná pro provoz proudových letadel.

Pro letiště, která splňují požadavky CAT I a vyšší se zavádějí další soustavy SZZ, které nejsou základem SZZ. Přimo na VPD to jsou např. osová návěstidla VPD, návěstidla zóny dotyku, v předpolí dráhy to jsou pak přibližovací návěstidla postranních řad.

1.2 Typy soustav světelného zabezpečovacího zařízení

Součástí vybavení vzletových, přistávacích a pojezdových drah je několik soustav SZZ. Ty se dělí podle umístění v prostoru letiště a stupně intenzity osvětlení.

Z pohledu konstrukčního se dají návěstidla rozdělit na zapuštěná a nadzemní.

Z pohledu, jak návěstidla vyzařují, je dělíme na všesměrová (vyzařují kolem své vertikální osy 360° v horizontální rovině) a dále na směrová. Směrová se dále dělí na jednosměrová a dvousměrová. Obecně lze říct, že návěstidla, která jsou všesměrová, mají nižší intenzity vyzařování než směrová návěstidla.

Dále je zapotřebí, aby návěstidla splňovala požadavky s ohledem na pevnost, odolnost a křehkost. Požadavek na křehkost je důležitý pro případ kdy letadlo vyjede z dráhy, v takovém případě musí dojít, v případě srážky s jinými v prostoru instalovanými objekty, k co nejmenším škodám na letadle. Požadavek na křehkost je dán tak, aby bylo návěstidlo dostatečně pevné, aby ho letadlo např. proudem vzduchu z motorů nesmetlo, ale zároveň aby

předalo co nejméně energie při tom, když ho letadlo ulomí. Existují různé koncepty stavby křehkých zařízení. První doporučuje „vylomení“ objektu po kontaktu s letadlem, čímž dojde ke skokovému snížení síly působící na letadlo a velmi často zároveň ke snížení překážky. Druhý doporučuje, aby se objekt po kolizi s letadlem rozpadl na tak malé (málo hmotné) kousky, které již letadlo dále nepoškodí. Konstrukci křehkých zařízení lze řešit i jinými přístupy k problematice, výše zmíněné dva jsou však v oblasti SZZ nejčastější. (3)

1.2.1 Approach

Návěstidla přiblížení značí směr přiblížení, mohou kódovat vzdálenost od VPD a opticky prodlužují osu VPD a jsou umístěna před VPD v její ose. Taková soustava se označuje jako ALS (*Approach Light System*), skládá se z řady trvale svítících a někdy i ze zábleskových návěstidel (načasovaných tak, že vytvářejí vjem intenzivně svítícího bodu postupujícího k prahu VPD) a vede ze vzdálenosti cca 900 metrů k prahu VPD. Zda jsou v této soustavě přítomná záblesková světla a jak daleko budou umístěna od prahu dráhy je dáno kategorií letiště.

Do této soustavy patří také CROSS BAR (příčná) návěstidla, která předávají informaci o horizontu – příčném sklonu dráhy (příčný sklon VPD je výrazně limitován předpisy). Zde je důležité, aby tato příčná návěstidla byla umístěna ve stejném sklonu, jako je sklon VPD. (5)

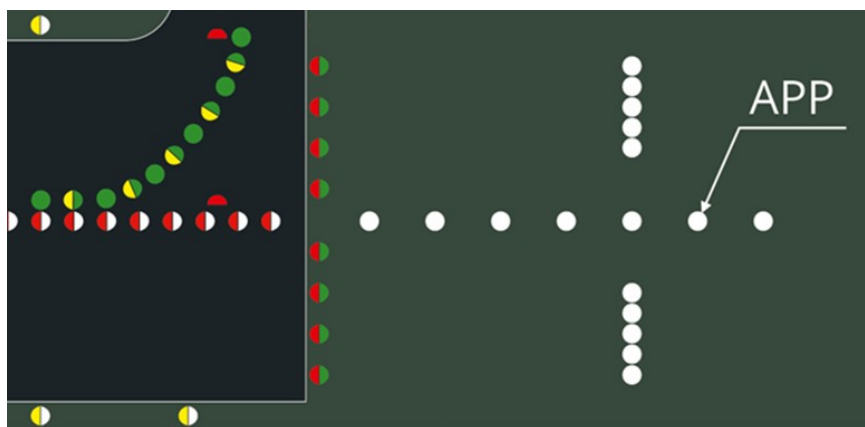
Soustavy SZZ v rámci části „approach“:

- APP – osová návěstidla a příčky přibližovací soustavy,
- ASR – návěstidla postranních řad přibližovací soustavy,
- SFL – sekvenční záblesková návěstidla,
- TIL – prahová poznávací návěstidla (záblesková).

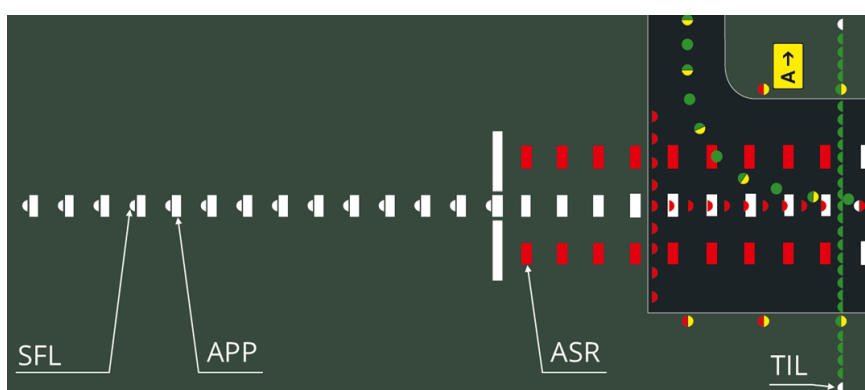


Obr. 1.2: Provedení přibližovacích návěstidel vyráběných firmou TRANSCON (6),

upraveno autorem



Obr. 1.3: Rozmístění návěstidel pro přiblížení do CAT I (6), upraveno autorem



Obr. 1.4: Rozmístění návěstidel pro přiblížení pro CAT II a výše (6), upraveno autorem

1.2.2 Runway

Na VPD a kolem ní je umístěno mnoho různých návěstidel, které ji označují. Na stranách dráhy jsou pravidelně rozmístěna bílá návěstidla RWY (*Runway Edge Lights*). V poslední třetině nebo 600 metrech dráhy (záleží na celkové délce dráhy) se bílá světla nahrazují žlutými, a to z důvodu indikace pro pilota, že se blíží konec dráhy.

Na VPD může být, podle kategorie letiště, světelně vyznačena i její osa RCL (*Runway Centerline*). Ta je po většinu dráhy značena bílými návěstidly, která se postupně směrem ke konci dráhy začínají střídát s červenými a v posledních 300 metrech je pak osa VPD značena pouze červenými návěstidly.

Další povinnou soustavou pro letiště CAT II+ jsou návěstidla zóny dotyku TDZ (*Touchdown Zone*). Návěstidla jsou instalována do krátkých příček (se třemi návěstidly),

kteřé jsou symetrické podle osy VPD. Vzdálenost mezi jednotlivými příčkami je 30 m, celková délka zóny je 900 m.

Vedle označení osy VPD, za předpokladu, že je letiště vybaveno pojezdovou dráhou pro rychlé odbočení, se mohou umístit návěstidla RETIL (*Rapid Exit Taxiway Indicator Lights*), která označují „rychlý výjezd“ ze vzletové a přistávací dráhy na pojezdovou dráhu.

Mimo výše uvedené soustavy se na VPD mohou nacházet i návěstidla typu THL (*Take-off Hold Lights*), která musí mít autonomní ovládání a jsou součástí systému ARIWS (*Autonomous RWY Incursion Warning System*) / RWSL (*RWY Status Light*). Tato návěstidla varují pilota, po vjezdu na VPD, o tom, že se na VPD ve směru před ním nachází překážka, která brání v zahájení rozjezdu a vzletu (letadlo, servisní vozidlo). (5)

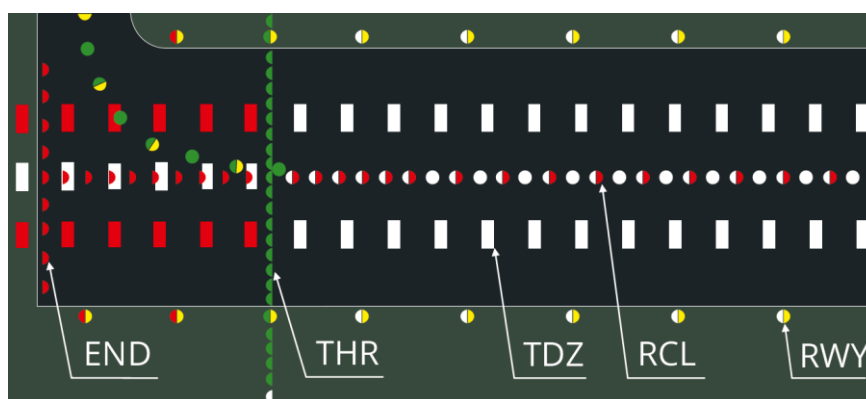
Soustavy SZZ v rámci části „RWY“:

- END – dráhová koncová návěstidla,
- RCL – osová návěstidla dráhy,
- RETIL – návěstidla pojezdové dráhy pro rychlé odbočení,
- RWY – postranní dráhová návěstidla,
- TDZ – návěstidla dotykové zóny,
- THL – „Take-off Hold Lights“,
- THR – prahová návěstidla,
- THREND – návěstidla začátku/konce dráhy.

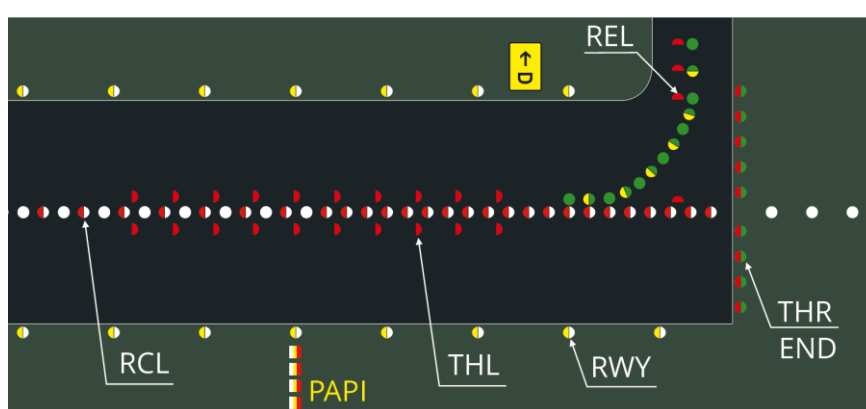


Obr. 1.5: Provedení návěstidel umístěných na dráze vyráběných firmou TRANSCON (6),

upraveno autorem



Obr. 1.6: Rozmístění návěstidel pro označení začátku dráhy ve směru přistání (6),
upraveno autorem



Obr. 1.7: Rozmístění návěstidel pro označení konce dráhy ve směru vzletu (6), upraveno
autorem

1.2.3 Precision Approach Path Indication

Mimo návěstidel dráhy a předpolí se používá také světelná signalizace pomáhající pilotovi udržet správnou sestupovou rovinu. Taková signalizační soustava se skládá z několika návěstidel (příčky) umístěných kolmo k ose VPD přibližně v bodu dotyku, která vyzařují směrem k přistávajícím letadlům. Dokud je letadlo na ideální sestupové rovině (klesání pod úhlem 3°), vidí pilot dvě bílá a dvě červená návěstidla (směrem od vnějšího k VPD). Pokud se letadlo blíží příliš nízko (pod sestupovou rovinou), jedno z bílých návěstidel se změní na červené, pokud se dostane ještě níž, vidí červená všechna. Naopak pokud je letadlo nad sestupovou rovinou, vidí pilot více bílých než červených návěstidel (systém je úhlově symetrický).

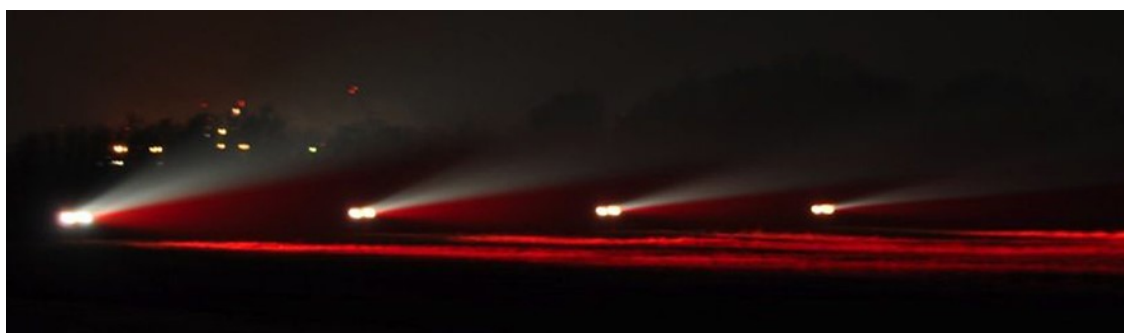
Existuje několik standardů, které mají podobný základní princip, ale liší se v detailech, jako např. počet a uspořádání návěstidel. Mírně odlišný systém používá jediné návěstidlo, které mění barvu (nad rovinou jantarová, na rovině zelená, pod rovinou červená), případně je návěstidlo blikající. Všechny tyto pomůcky PAPI (*Precision Approach Path Indication*) či VASI (*Visual Approach Slope Indicator*) mají jednoduchý základní princip. Návěstidla jsou vybavena optickou soustavou, která světlo rozděluje do dvou částí: horní část svítí bíle, dolní červeně. Z toho plyne, že barevná kombinace, kterou pilot vidí, závisí na jeho úhlové poloze vůči jednotlivým návěstidlům a tím při jejich správném nastavení indikuje polohu vůči sestupové rovině. (5)

Návěstidla PAPI mohou být součástí systému ARIWS, pokud jsou zařazena do systému FAROS (*Final Approach RWY Occupancy Signal*). V případě, že se na VPD nachází překážka (letadlo, servisní vozidlo) soustava PAPI nesvítí stálým svitem, ale bliká. Tento systém stejně jako ostatní ARIWS systémy musí být plně autonomní.



Obr. 1.8: Provedení návěstidla pro sklon sestupu vyráběných firmou TRANSCON. (6),
upraveno autorem

Jejich umístění v prostoru letiště je znázorněno na obr.1.7.



Obr. 1.9: Způsob svícení návěstidel PAPI směrem k letadlu (7)

1.2.4 Taxiway a Apron

Základním značením okrajů výše zmíněných pohybových ploch jsou všesměrová návěstidla modré barvy. Jiná SZZ, popisovaná níže, v rámci pojezdových drah a stojánek jsou nutná v následujících případech: provoz LVP (*Low Visibility Procedures*) při RVR (*RWY Visibility Range*) <350 m, využívání systému (A)SMGCS (*Advanced Surface Moving Guidance Control System*).

Návěstidla osy pojezdové dráhy označují osu dráhy, a svítí zelenou, nebo žlutou barvou. Návěstidla žluté bary jsou využívána u výjezdů z VPD, kde se pravidelně střídají s návěstidly zelenými, a to až k okraji kritického/citlivého prostoru ILS/MLS (*Instrument Landing System / Microwave Landing System*). Napájení těchto návěstidel musí být řešeno tak, že v případě výpadku jednoho zdroje zůstane zachováno barevné kódování. Podle těchto návěstidel pilot srovnává letadlo do středu dané dráhy. Navíc toto značení, zejména v rámci systému (A)SMGCS, může sloužit k usnadnění navigace mezi VPD a stáním letadla.

Ochranná dráhové návěstidlo RGL (*Runway Guard Lights*) tvoří dvě žlutě střídavě blikající jednotky upozorňující pilota, že vjíždí na VPD. Návěstidla RGL jsou často umístována u vyčkávacích míst symetricky k ose pojezdové dráhy. Jejich hlavním úkolem je minimalizovat riziko nebezpečného vjezdu na VPD.

Návěstidla stop příčky SBL (*Stop Bar Lights*) jsou červená návěstidla, umístěná kolmo k ose pojezdové dráhy tak, že vytváří iluzi světelné závory. Stop příčky jsou řízené (zhasínané) službou řízení letového provozu (umožnění projetí místa), jejich opětovná aktivace může být autonomní (časová funkce, nebo detekce polohy letadla/servisního vozidla). Pokud jsou u stop příčky instalována přiléhající osová návěstidla, pak v případě, že stop příčka je rozsvícena, jsou v navazujícím směru v délce 90 m osová návěstidla zhasnuta a naopak.

Návěstidla REL (*Runway Entrance Light*) jsou červené barvy, musí mít autonomní ovládání a jsou součástí systému ARIWS/RWSL. Tato návěstidla varují pilota při vstupu na VPD o tom, že by vstupem na VPD nastala nebezpečná situace (sblížení).

Návěstidla mezilehlých vyčkávacích míst, návěstidla výjezdu ze zařízení pro odmrazování a protínámrazové ošetření jsou trvale svítící žlutá návěstidla.

Apron neboli stojánka pro stání letadel může být vybavena návěstidly SMG (*Aircraft Stand Manoeuvring Guidance Lights*) pro orientaci po její ploše, tak že letadla jsou jimi naváděna z popojíždějících drah k jednotlivým stáním letadel (terminálům/branám).

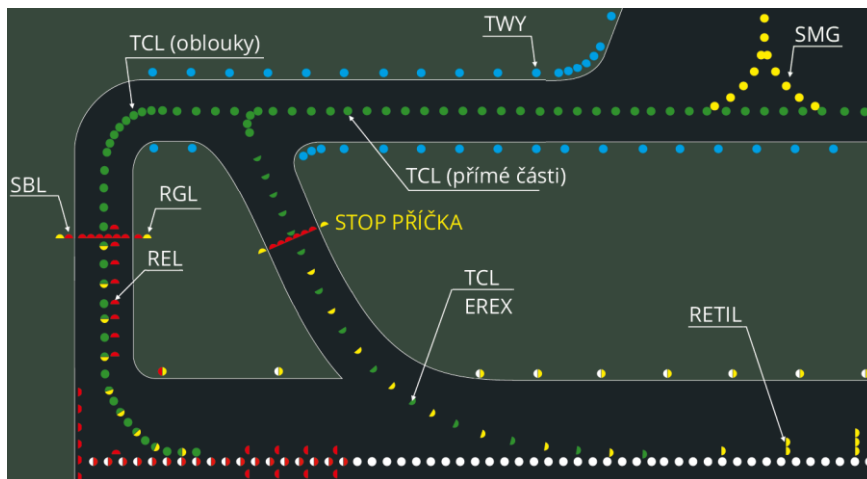
Mimo výše uvedená návěstidla se v prostoru stojánky používají „flood lights“, která jsou přímo určená k rovnoměrnému osvětlení dané plochy. I zde jsou stanovena specifika pro osvětlení ploch tak, aby nedocházelo k oslňování pilota při pojíždění. (5)

Soustavy SZZ v rámci části „TWY“ a „APRON“:

- EREX – zdokonalená osová návěstidla pojezdové dráhy,
- REL – „RWY Entrance Lights“,
- SBL – návěstidla stop příček,
- RGL – dráhová ochranná návěstidla,
- TCL – osová návěstidla pojezdové dráhy,
- TWY – postranní návěstidla pojezdové dráhy,
- SMG – návěstidla pro navádění na stání letadel.



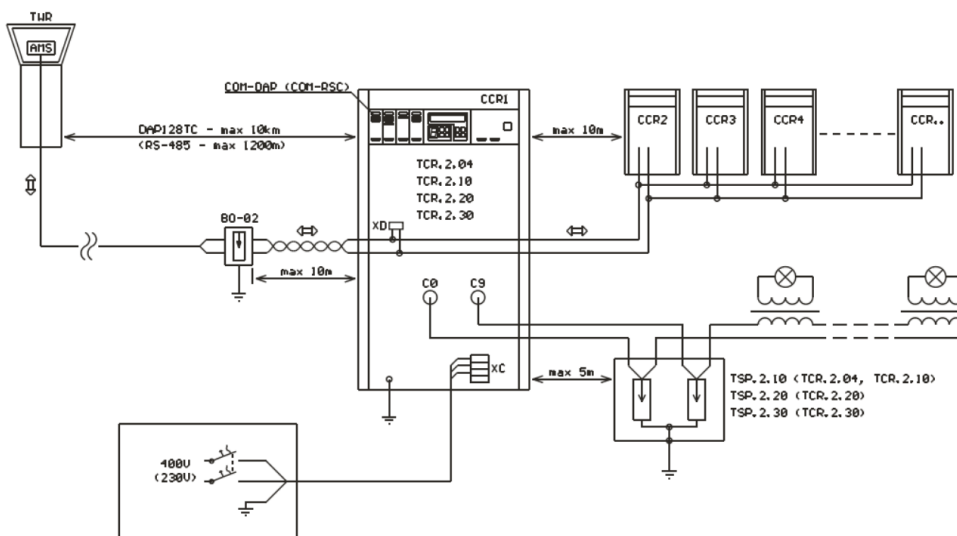
Obr. 1.10: Provedení návěstidel umístěných na pojezděcích dráhách vyráběných firmou TRANSCON (6), upraveno autorem



Obr. 1.11: Rozmístění návěstidel pro označení pojezděcích drah a stojánky (6), upraveno autorem

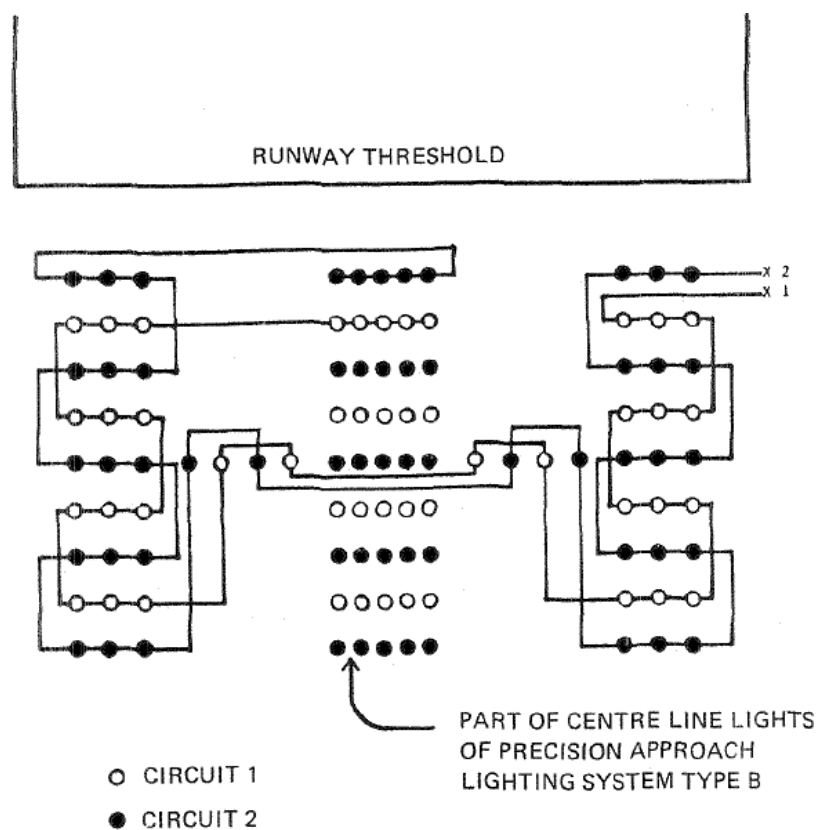
1.3 Systém napájení světelných soustav

První návěstidla instalovaná na letištích využívala jako zdroje světla halogenové žárovky. Hlavními požadavky jsou: stejná svítivost u všech návěstidel jedné světelné soustavy, neovlivnění systému jako celku výpadkem jednoho návěstidla, redundantní napájení (u letišť vyšších CAT). Vzhledem k vzdálenostem a potřebným příkonům je téměř vyloučeno využití paralelního (napětového) systému napájení (z důvodu úbytku napětí). Výše uvedené vedlo k zavedení napájení sériovým (proudovým) rozvodem s pomocí oddělovacích transformátorů. Stanovený jmenovitý proud 6,6 A (8,3 A) je kompromisem mezi celkovým napětím a ztrátami v rozvodném systému.



Obr. 1.12: Zapojení ovládání a napájení světelného zabezpečovacího systému (8)

Z důvodu požadavku redundance jsou SZZ navrhovány jako více (dvou) smyčkové. V případě výpadku jednoho zdroje zhasne polovina návěstidel v soustavě (ob jedno návěstidlo), tím je zabezpečeno, že nedojde ke změně výsledného obrazce (změně navigační informace). Degradovaný stav stále umožňuje dokončit přistání, které již nelze bezpečně přerušit.



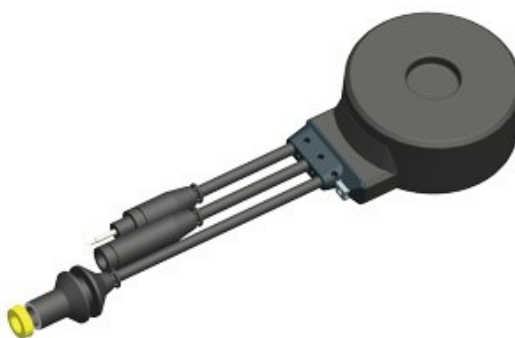
Obr. 1.13: Příklad zapojení návěstidel (9)

1.3.1 Oddělovací transformátory

Oddělovací transformátory jsou nezbytnou součástí celého napájecího obvodu, kdy k sekundárním vinutí oddělovacího transformátoru je připojena jedna, nebo více žárovek v sérii. Důvodem použití těchto transformátorů je požadavek na nepřerušení „obvodu“ v případě přerušení vlákna žárovky. V případě poruchy dojde k přerušení obvodu na sekundární straně transformátoru. Aby tento stav negativně neovlivňoval primární obvod, musí být magnetický obvod a vlastní indukčnost oddělovacích transformátorů vhodně navrženy (při odlehčení výstupu/sekundárního obvodu, musí dojít k přesycení transformátoru a tím k umožnění relativně snadného průchodu proudu primárním obvodem – tj. rozpojení obvodu na sekundární straně se netransformuje na stranu primární).

Tyto transformátory jsou dokonale těsné, s vysokou elektrickou i mechanickou odolností, chemickou odolností proti oleji, petroleji, dalším leteckým palivům, půdním kyselinám a chemikáliím, které se mohou vyskytovat na letištní ploše.

Konstrukci tvoří dvě měděná vinutí (primární a sekundární), navinutá na toroidní magnetické jádro. Standardně je převodový poměr 1:1 (6,6/6,6 A), ale existují i s jinými převodovými poměry (např.: 8,3/6,6 A; 6,6/2,2 A). Zemnicí svorka je připojena k jednomu pólu sekundárního vinutí. Alternativně se oddělovací transformátory vyrábějí i bez uzemnění. Transformátory jsou produkovány jsou ve řadách se jmenovitým výkonem 10/15, 20/25, 30/45, 65, 100, 150, 200, 300 W. (5)



Obr. 1.14: Provedení oddělovacího transformátoru vyráběného firmou EFLA (10)

1.3.2 Primární vedení

Zdroje (regulátory) konstantního proudu a proudové oddělovací transformátory v proudové smyčce jsou propojeny jednožilovými měděnými slanými kabelem. Trasy těchto kabelů mohou měřit až několik kilometrů.

S ohledem na instalační podmínky musí kabely splňovat požadavky na mechanickou odolnost, odolnost vůči teplotě, vlhkosti a chemickým látkám (obdobně jako oddělovací transformátory). Další požadavky (elektrické) jsou elektrická pevnost izolace, proudová zatížitelnost, izolační odpor a měrný odpor kabelu. Kabely mohou být i stíněné. Důvodem stínění je zajištění rovnoměrného elektrického namáhání izolace (rovnoměrně rozložená intenzita el. pole v izolaci, i při změně okolního prostředí. Stíněné kabely se nepoužívají na letištích ČR. (11)

Stíněný kabel BETA LUX 5kV

Tento kabel je vhodný pro zatažení do potrubí a uložení do výkopů.

Tab. 2: Parametry stíněného kabelu BETA LUX 5 kV (11)

Provozní napětí	Nominální proud	Maximální odpor při teplotě +20 °C na 1 km	Izolační odpor na 1 km	Průřez vodiče
5000 V	6,6 A	3,08 Ω	10 M Ω	6 mm ²



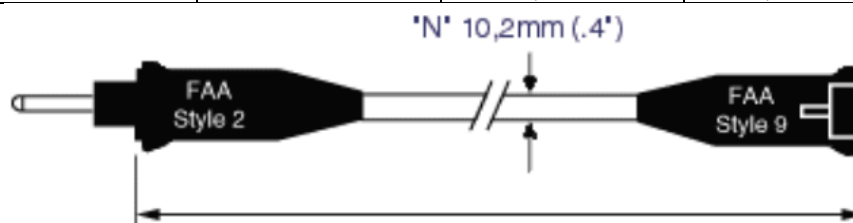
Obr. 1.15: Provedení primárního kabelu BETA LUX 5kV vyráběného firmou STUDER (11)

Prefabrikovaný nestíněný kabel AWG8 5kV s flexovanými konektory

Tento kabel je vhodný především k mobilnímu použití s prefabrikovanými konektory.

Tab. 3: Parametry nestíněného kabelu AWG8 5 kV (12)

Provozní napětí	Maximální proud při 90 °C	Maximální odpor při teplotě +20 °C na 1 km	Průřez vodiče
5000 V	25 A	2,18 Ω	8,4 mm ²



Obr. 1.16: Provedení primárního kabelu AWG8 5kV vyráběného firmou AMERACE (11)

1.3.3 Sekundární vedení

Propojení mezi sekundárními vinutími oddělovacích transformátorů a jednotlivými návěstidly je zajištěno sekundárními měděnými šňůrovými dvoužilovými kabely. Trasy těchto kabelů měří jednotky nebo desítky metrů.

Požadavky na neelektrické vlastnosti jsou shodné s kabely primárními (viz 1.3.2). Oproti primárním kabelům se s těmito pracuje snáze díky jejich provedení.

Kabel H07RN-F*Tab. 4: Parametry sekundárního kabelu H07RN-F (11)*

Provedení	Maximální proud	Maximální odpor při teplotě +20 °C na 1 km	Průřez vodiče
2x2,5	25 A	7,98 Ω	2,5 mm ²
2x4	32 A	4,95 Ω	4 mm ²



*Obr. 1.17: Provedení sekundárního kabelu H07RN-F vyráběného firmou
KABLO ELEKTRO (11)*

1.3.4 Regulátor konstantního proudu

Zdrojem napájení pro SZZ zapojené v sériovém letištním rozvodu je regulátor konstantního proudu, dále jen CCR (*Constant Current Regulator*). Výstup je regulován do 3, nebo 5 proudových úrovní, pomocí nichž je regulována intenzita svítivosti jednotlivých soustav (návěstidel).

Tab.5: Proudové stupně z CCR (9)

Typ provedení	Proudový stupeň	Jmenovitý výstupní proud (A) efektivní hodnota
1	3	6,6
	2	5,5
	1	4,8
2	5	6,6
	4	5,2
	3	4,1
	2	3,4
	1	2,8

Velikost výstupního napětí CCR (sekundárního vinutí výkonového transformátoru) je řízena pomocí dvou antiparalelně zapojených tyristorů v obvodu primárního vinutí transformátoru, které řídí připojování jeho primární strany k distribuční síti prostřednictvím spouštěcích impulsů. Úhel otevření (okamžik otevření tyristoru v průběhu každé půlperrody) je určován řídicí elektronikou (vlastním regulačním obvodem). Výkonový transformátor CCR je transformátor s převodem nahoru (výstupní napětí je vyšší než vstupní). Řízením úhlu otevření jednotlivých tyristorů je regulováno výstupní napětí CCR tak, aby byla zajištěna (konstantní) požadovaná efektivní hodnota proudu pro smyčku s návěstidly.

CCR jsou vyráběny se vzduchem chlazenými transformátory s výstupním výkonem 4, 10, 20, 30 kVA. Pro zajištění co nejefektivnější a nejpresnější regulace výstupního proudu, je nutné zajistit, aby byl úhel otevření tyristorů co největší (ideálně 180°), toho je možné docílit přizpůsobením výstupního výkonu CCR (transformátoru). Přizpůsobení CCR se provádí změnou zapojení (překonfigurováním) sekundárního vinutí výkonového transformátoru, tj. změnou transformačního poměru. Sekundární vinutí má více vývodů, jejich správným propojením lze snížit výstupní výkon CCR z jmenovitého až na cca 3/8. (8)



Obr. 1.18: Provedení regulátoru konstantního proudu firmou TRANSCON (8)

Ovládání intenzity osvětlení, resp. výstupního proudu je možné z pozice přímo na ovládacím panelu regulátoru nebo dálkově z řídicího systému ALCMS (*Airport Lighting*

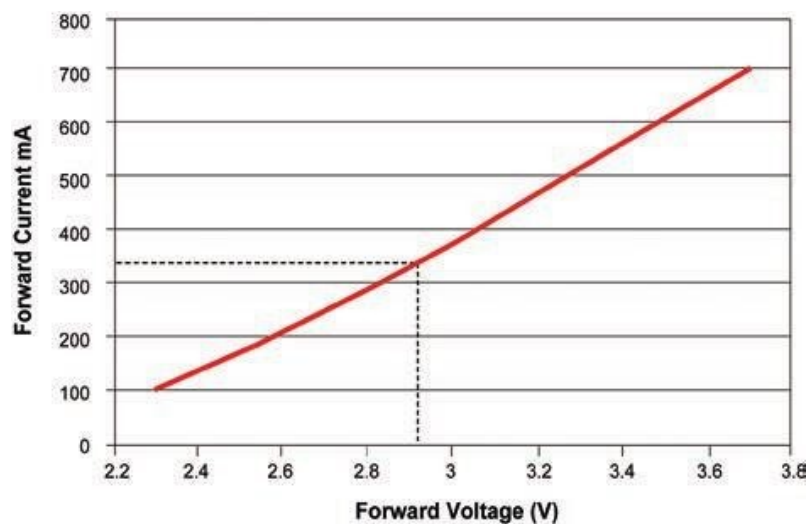
Control & Monitoring System), který taktéž vyrábí firma TRANSCON v několika provedeních pod označením AMS (*Airport Monitoring System*).

1.4 Možnosti inovace světelného zabezpečovacího systému

Dnes je čím dál tím více používána LED technologie, která nahrazuje použití žárovek, resp. halogenových žárovek, a to zejména v automobilovém průmyslu. Tento trend nahrazování se taktéž začíná promítat i do návěstidel SSZ.

Základním rozdílem mezi použitím LED oproti halogenovým žárovkám je v tom, že LED mají mnohem delší životnost. U halogenových žárovek použitých v SSZ se životnost odhaduje na řády jednotek tisíců hodin, kdežto u LED je jejich životnost odhadována v řádech desítek tisíců hodin.

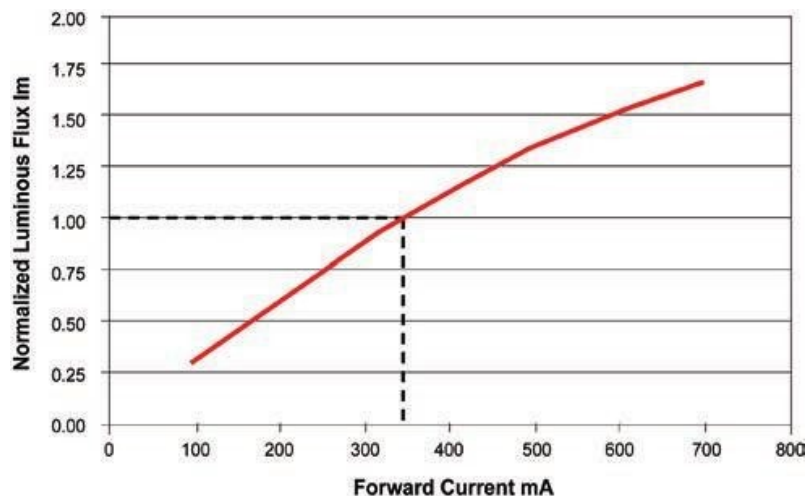
Dalším rozdílem je pak tvar jejich voltampérové charakteristiky, který přímo souvisí s regulací svítivosti (intenzity vyzařování). Na obrázku 1.12 je zobrazena voltampérová charakteristika LED. Stejný typ charakteristiky, pro vybranou halogenovou žárovku Narva 6392LL, je pak vykreslen na obrázku 2.5. Žárovky jiných typů (wattáží) mají stejný tvar VA charakteristiky, mění se pouze měřítko na osách.



Obr. 1.19: Příklad voltampérové charakteristiky LED (13)

VA charakteristiky LED a halogenových žárovek se tvarově vzájemně liší, čímž je dáno, že se také liší charakteristiky intenzity svítivosti v závislosti na proudu. Na obrázku 1.13 je zobrazena charakteristika intenzity osvětlení pro LED a na obrázku 2.8 je tato charakteristika zobrazena pro halogenovou žárovku Narva 6392LL. LED charakteristiky se považují za

lineární, lze tak říci, že s rostoucím proudem přímo úměrně roste i intenzita osvětlení. U halogenových žárovek toto tvrzení však neplatí.



Obr. 1.20: Příklad závislost intenzity osvětlení LED (13)

Výše uvedené důvody společně s dalšími vedou k nutnosti nově standardizovat podobu napájecí soustavy pro LED návěstidla. Při jejím vývoji by měly být vzaty v úvahu zejména následující požadavky: energetická účinnost soustavy jako celku, možnosti selektivního ovládání a monitoringu, kompatibilita se stávajícími rozvody.

Řešením, které by bylo částečně kompatibilní se stávajícími systémy je realizovat LED návěstidla pro sériové napájení nižším jmenovitým proudem 2,2 A (1,1 A). Výhodou tohoto řešení je možnost zachovat stávající primární a sekundární kabeláž (rozvody), vyměněny by musely být pouze oddělovací transformátory. Výhodou v provozu by představovalo: 3krát (6krát) vyšší napětí pro elektroniku LED, 9krát (36krát) nižší ztráty v sekundárním vedení, v případě nových instalací možnost využití sekundárních kabelů s redukováným průřezem 2,5 mm² (1,5 mm²). Omezení vyplývající z tohoto řešení se týkají zejména: složitosti napájecích obvodů pro LED, složitosti, resp. omezených možností pro selektivní ovládání a monitorování návěstidel.

Řešení, které by výrazně zlepšilo možnosti selektivního ovládání a monitorování lze spatřovat ve využití paralelního napájení. Nevýhoda úbytku napětí na vedení v dlouhých rozvodech je eliminována schopností měničů (napájecích zdrojů pro LED) pracovat v širokém rozsahu napětí. Další výhodou paralelního systému napájení s implementovaným systémem selektivního ovládání je možnost eliminace více „smyček/větví“, které by

v ideálním/teoretickém případě mohly být redukovány na dvě, protože řízení jednotlivých soustav by již nebylo závislé na společném napájení.

Obecně lze za největší přínos LED návěstidel považovat věrnost podání barvy a absence změny barvy v případě stmívání (změny intenzity vyzařování). Klady LED návěstidel jsou také snížená energetická spotřeba, delší životnost světelného zdroje a snížené teplotní namáhání dílů návěstidla. Mezi zápory pak můžeme řadit vyšší technickou složitost, vyšší cenu návěstidel i náhradních dílů, vyšší požadavky na provádění údržby/preventivní údržby/oprav, složitější konstrukci/zimní údržbu z důvodu absence infračerveného záření ve směru vyzařování a obecně nižší povrchové teploty návěstidel.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že LED návěstidla nemusí být vždy nutně výhodnějším řešením pro letiště. Výhodnost vybavení LED návěstidly je nutné posuzovat pro konkrétní případy. Hlavními parametry, které je nutno zvažovat jsou předpokládaná hustota provozu na letišti, cena a kvalita práce, odhad ceny elektrické energie, místní klimatické podmínky (letiště v zemích, kde neklesá okolní teplota pod bod mrazu nebo se k němu nepřibližuje), četnost bouřek a případně i jiné k provozu LED návěstidel se vztahující podstatné informace.

2 Simulace v programu PSpice

Simulační programy typu SPICE patří k oblíbeným softwarovým nástrojům pro modelování a počítačovou simulaci elektronických systémů, který je produktem společnosti Cadence Design Systems, Inc. S jeho komerční verzí jsou seznamováni studenti takřka na všech elektrotechnických fakultách na světě.

Uživatelé v různých průmyslových odvětvích a školách po celém světě používají tento simulátor elektronických obvodů PSpice, aby simulovali obvody, v kterých lze najít a opravit problémy s jejich konstrukcí předtím, než se návrhy převedou na hotový výrobek. Díky tomuto silnému simulátoru obvodů a analytickému prostředí mohou být uživatelé ujištěni o tom, že obvody fungují podle jejich představ. Tato důvěra vede ke zvýšení výrobního výnosu, k menšímu počtu nutných prototypů, ke snížení času strávenému v laboratořích, a nakonec ke snížení nákladů na produkt, čímž se zvyšuje potenciální zisk.

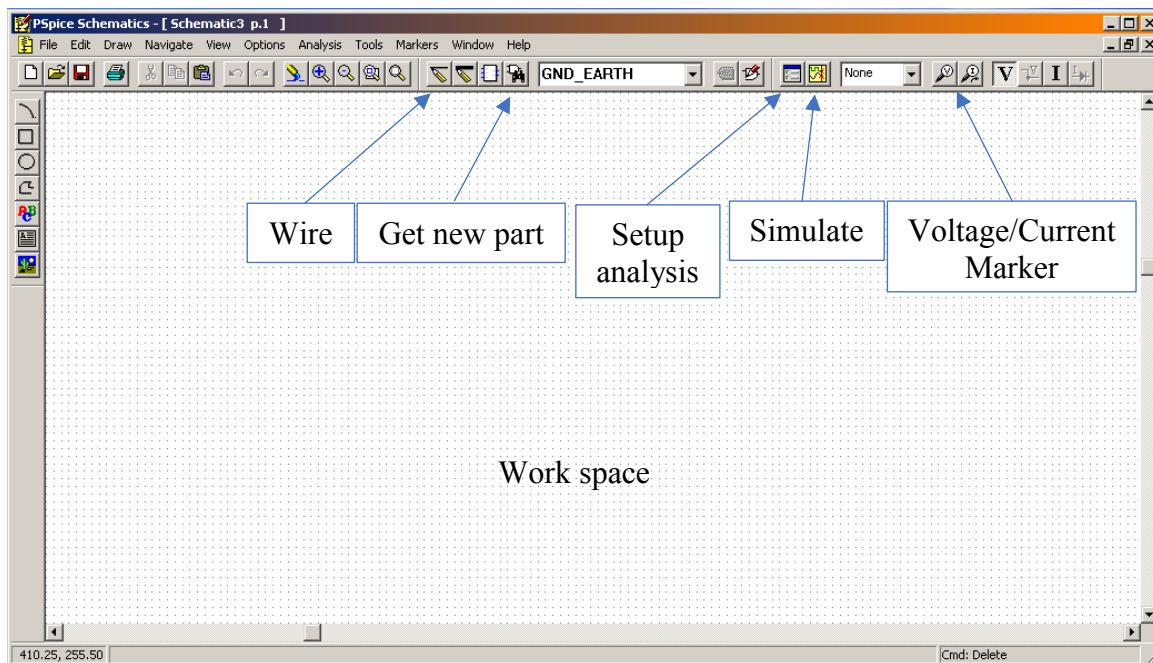
(14)

Postup práce s tímto simulátorem můžeme rozdělit do tří hlavních kroků:

1. Nakreslení schématu a definice všech použitých prvků. Schéma musí obsahovat příslušné napájecí a eventuálně i budicí zdroje tak, jak by odpovídalo uspořádání při měření na skutečném obvodu v laboratoři. Při vytváření schématu je možné použít stávající modely z knihovny PSpice (cca 15 tisíc prvků ve verzi 16.3), které se dají modifikovat, nebo si můžeme příslušný model vytvořit sami.
2. Nastavení požadovaného typu analýzy (simulace), včetně jeho trvání a vzorkovací periody, a její spuštění.
3. Zpracování výsledků analýz v postprocesoru. Kromě prostého zobrazení grafů jsou k dispozici i pokročilé funkce pro vyhodnocování průběhů. Např. je možné automaticky určit šířku pásma pásmové propusti, resp. zobrazit její závislost na nějakém obvodovém parametru. Takové vyhodnocení by bylo možné provádět i „ručně“, ale za cenu vysoké pracnosti a časové náročnosti.

2.1 PSpice Schematic 16.3

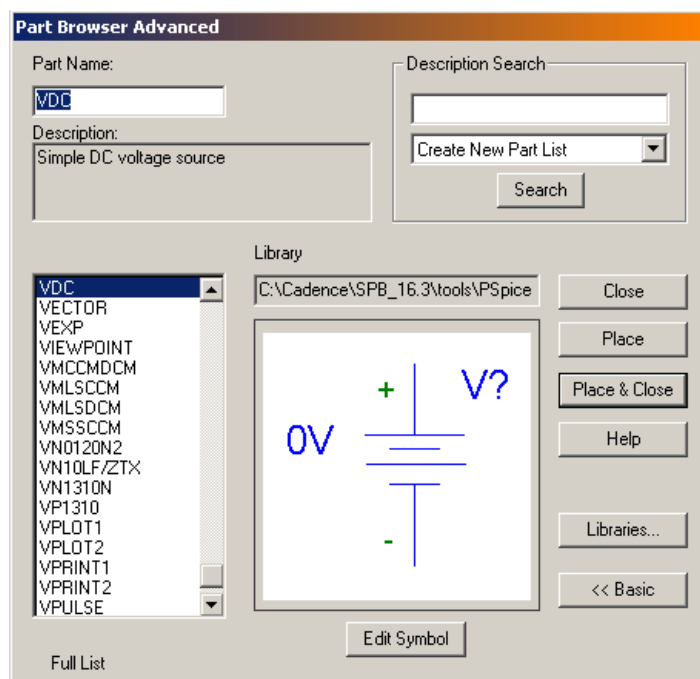
Pro vypracování všech simulačních modelů byl zvolen, pro svou jednoduchost a přehlednost, podprogram PSpice Schematics 16.3 z balíčku Cadence PSpice.



Obr. 2.1: Simulační program PSpice Schematics

Základními pomůckami pro vytvoření simulačních schémat a jejich následnou simulaci jsou tyto základní ikony:

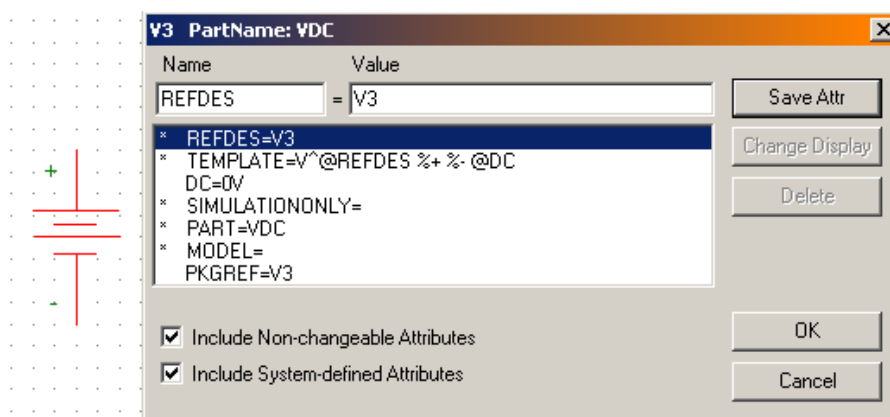
- Wire – propojovací čára (vodič) mezi prvky,
- Get new part – vkládání jednotlivých součástek a prvků, které jsou obsaženy v knihovnách,
- Setup analysis – výběr typu analýzy a její nastavení, např. doba trvání simulace, čas vzorkování atd.,
- Simulate – spuštění simulace a tím otevření postprocesoru pro vykreslení průběhů napětí, proudů, atd. do grafu,
- Voltage/Current Marker – sondy pro měření napětí vůči zemi a proudu. Napěťová sonda se může umístit do jakéhokoliv místa v obvodu. Proudová sonda se může umístit pouze přímo na vývody použitých prvků.



Obr. 2.2: Okno pro výběr prvků

Vybraný prvek lze libovolně umístit do prostoru pracovní plochy. Umístíme všechny prvky požadovaného obvodu a propojíme je mezi sebou pomocí funkce Wire. Nesmí se však zapomenout na to, že každé schéma musí obsahovat alespoň jednu značku uzemnění GND_EARTH nebo GND_ANALOG. Tato značka definuje referenční uzel, vůči němuž se vždy měří napětí, bez něho není simulace možná.

Nastavení parametrů prvků vložených na pracovní plochu lze upravit dvojklikem na použitý prvek a následně opět dvojklikem na danou hodnotu (atribut), který chceme změnit.



Obr. 2.3: Nastavení parametru prvku

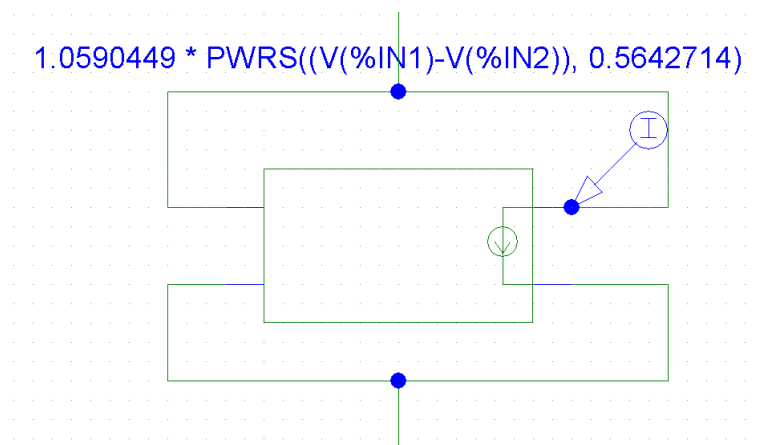
2.2 Komponenty světelného zabezpečovacího zařízení letiště

Součástí světelného zabezpečovacího zařízení letiště se skládají z těchto základních komponent:

- návěstidla (světelné zdroje rozmístěné po ploše letiště),
- primární a sekundární vedení (veškerá kabeláž rozvodů po letišti),
- oddělovací transformátory,
- regulátor konstantního proudu (napájecí zdroj světelných zdrojů).

2.2.1 Návěstidla

Pro simulaci návěstidel, resp. halogenových žárovek, které jsou použity téměř ve všech typech návěstidel použitých na letišti, je zvolena metoda nasimulování velikosti proudu v závislosti na napětí. Tzn., že simulaci průběhu proudu a napětí na takové žárovce, a tedy i chování zátěže konstantního proudového zdroje, provedu pomocí bloku ABM (*Analog Behavioral Modeling*) se dvěma napěťovými vstupy a proudovým výstupem. Tento blok je řízen vstupním napětím a jeho výstup je pak proudový, je to tedy napětím řízený proudový zdroj. (15)



Obr. 2.4: Použitý blok ABM2/I pro simulaci halogenových žárovek

Aby mohl být vytvořen tento blok s definovanou rovnicí VA charakteristiky žárovky, který na základě úbytku napětí na něm vypočte odpovídající hodnotu jím procházejícího proudu, bylo nutno získat V-A charakteristiku vybrané halogenové žárovky.

Na vybraných žárovkách bylo proto provedeno měření pomocí DC zdroje. Ke zdroji byla připojena jedna konkrétní žárovka a od nulového napětí (i proudu) bylo napětí postupně zvyšováno od desetiny voltu až do hodnoty napětí, kdy hodnota proudu byla rovna 6,6 A, tedy do jmenovitého proudu halogenové žárovky. Všechny tyto změřené hodnoty byly zapsány a byla provedena matematická operace, za pomoci programu Microsoft Excel, která převedla změřenou charakteristiku na mocninnou funkci ve tvaru:

$$I_h = g \cdot U_h^k \text{ (A)}, \quad (1)$$

kde:

- g – koeficient napětí halogenové žárovky,
- I_h – proud halogenové žárovky,
- k – mocnitel napětí halogenové žárovky,
- U_h – napětí halogenové žárovky.

Z proudů I_{jm} a I_{djm} a jim odpovídajících napětí U_{jm} a U_{djm} , za předpokladu, že $U_{jm} / U_{djm} = 10$, lze pak vypočíst mocnitel k a koeficient g takto:

$$k = \log \frac{I_{jm}}{I_{djm}} (-), \quad (2)$$

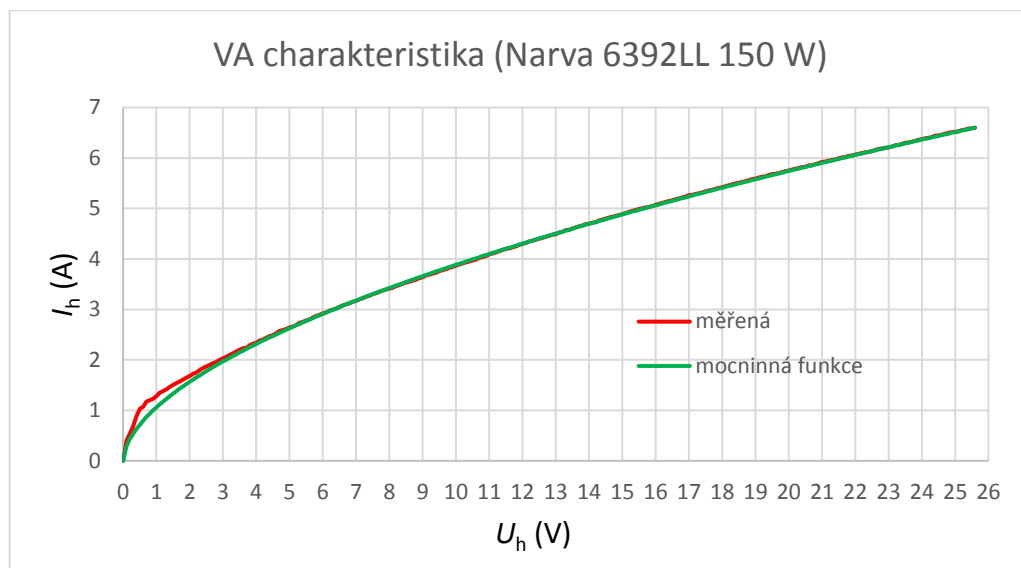
$$g = \frac{I_{jm}}{U_{jm}^k} (-). \quad (3)$$

kde:

- I_{djm} – proud protékající halogenovou žárovkou při desetině jmenovitého napětí žárovky,
- I_{jm} – jmenovitý proud halogenové žárovky,
- U_{djm} – desetina jmenovitého napětí halogenové žárovky,
- U_{jm} – jmenovité napětí halogenové žárovky.

V konkrétním případě pro halogenovou žárovku Narva 6392LL má rovnice mocninné funkce tvar:

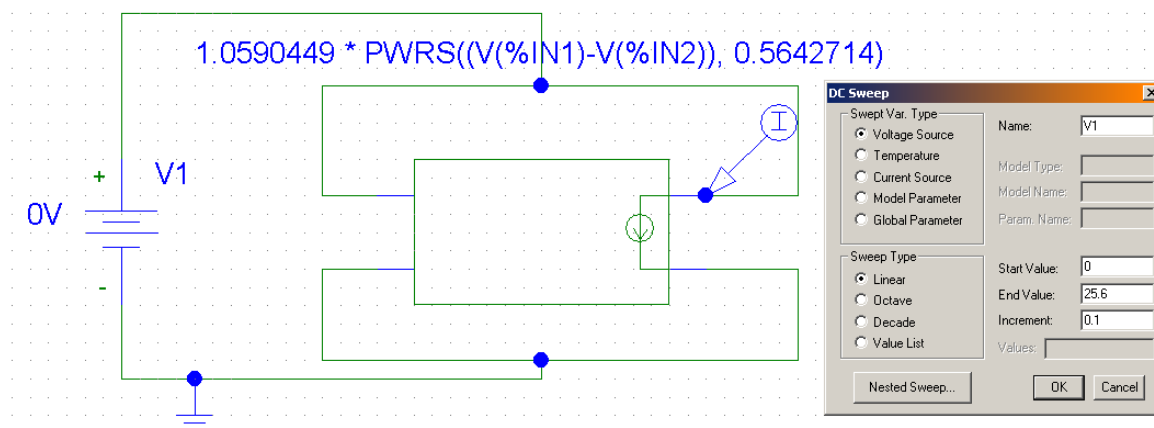
$$I_h = 1,0590449 \cdot U_h^{0,5642714} \text{ (A)}$$



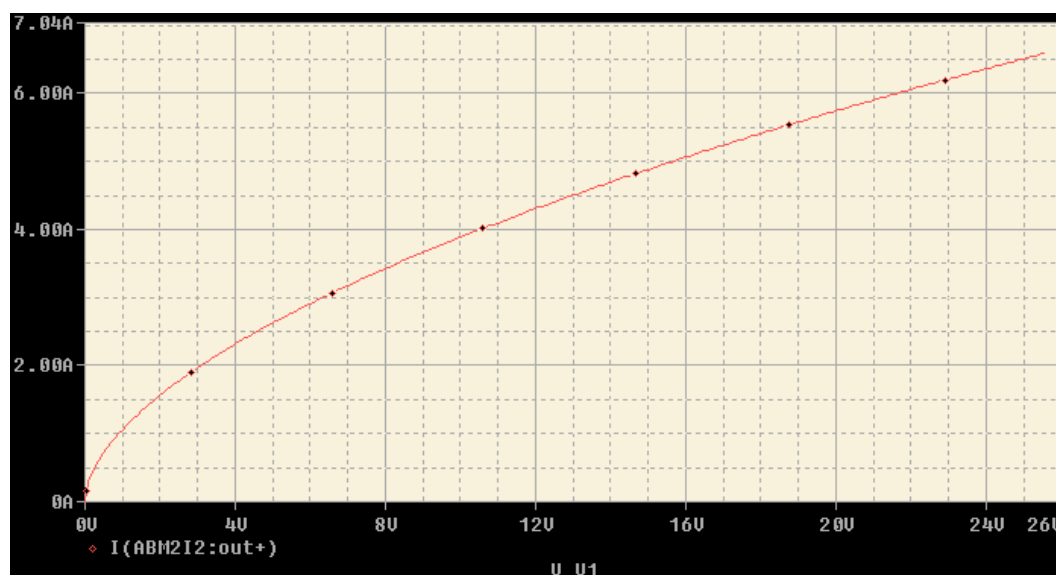
Obr. 2.5: V - A charakteristika halogenové žárovky Narva 6392LL 150 W

Jak je patrné, mocninná funkce se překrývá s naměřenými hodnotami VA charakteristiky. Výjimkou jsou zde body na začátku grafu, kde vzniká nemalá odchylka od skutečné měřené charakteristiky. Tuto odchylku však lze zanedbat z důvodu, že pro simulaci jsou důležité zejména pracovní body, protože první regulační stupeň svítivosti návštěvníků začíná od proudu 2,8 A, tedy v rozsahu od 2,8 – 6,6 A.

Model žárovky je simulován pomocí analýzy DC SWEEP, kdy je tento model připojen na zdroj stejnosměrného napětí, postupně zvyšovaného v krocích až na hodnotu, při němž žárovkou protéká jmenovitý proud.

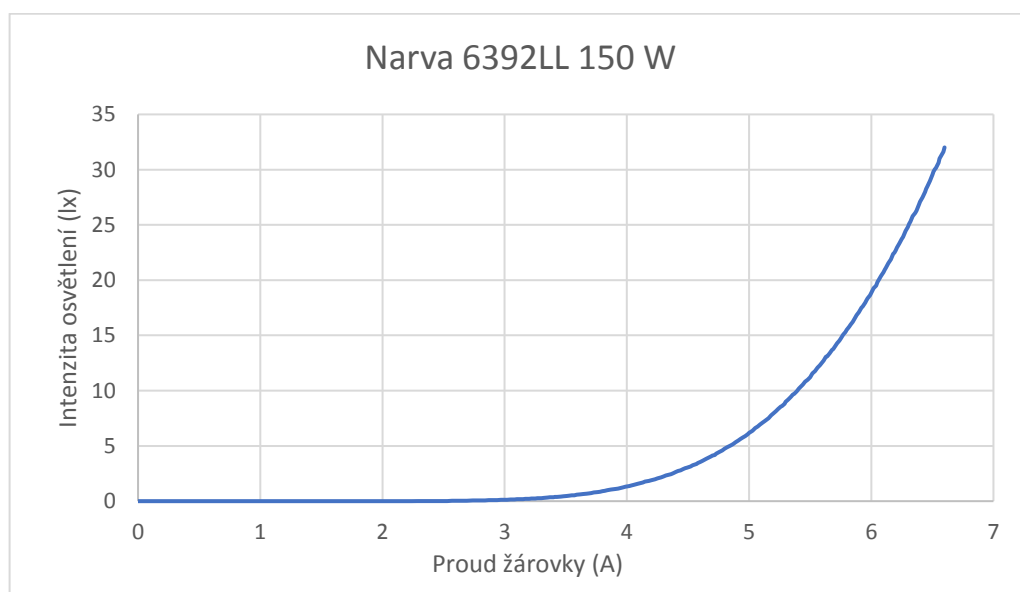


Obr. 2.6: Zapojení a nastavení simulace halogenové žárovky Narva 6392LL



Obr. 2.7: VA charakteristika halogenové simulačního modelu žárovky Narva 6392LL 150 W

Při měření VA charakteristiky, v prostorách testovací místnosti firmy TRANSCON byla navíc změřena charakteristika závislosti intenzity osvětlení na velikosti proudu.



Obr. 2.8: Závislost intenzity osvětlení halogenové žárovky Narva 6392LL 150 W

Toto měření je provedeno na všech simulovaných halogenových žárovkách. Jako příklad je uvedena tabulka s vybranými hodnotami proudů, které odpovídají pěti stupňům intenzity svítivosti, kde je uvedeno, jaké je napětí na žárovce, intenzita osvětlení na vzdálenost 10 m a jaká je její svítivost vyjádřená v procentech.

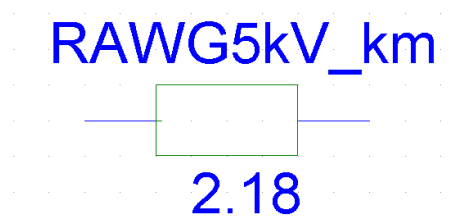
Tab.6: Změřené hodnoty na žárovce Narva 6392LL 150 W

I_h (A)	U_h (V)	Intenzita osvětlení (lx)	Svítivost (%)
2,8	5,6	0,06	0,19
3,4	7,9	0,36	1,12
4,1	11,1	1,6	5
5,2	16,7	7,95	24,84
6,6	25,6	32,01	100

2.2.2 Primární a sekundární vedení

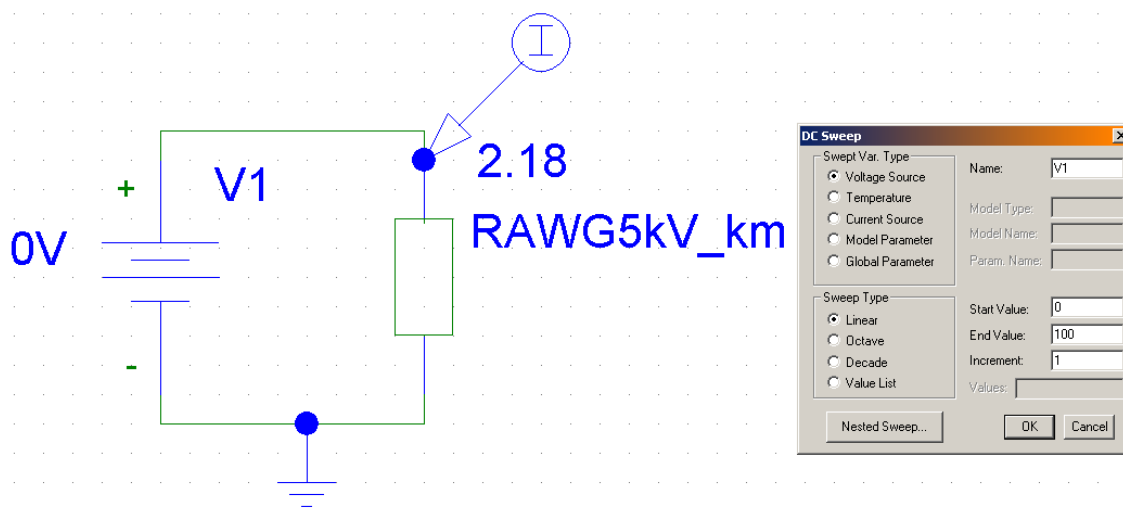
Simulace je provedena jak pro primární, tak i pro sekundární vedení stejně. Vedení je zde řešeno velmi jednoduše, a to tak, že se zanedbává jakákoliv kapacita a indukčnost. V potaz je brána jen hodnota měrného odporu vedení v Ω/km , která je dána výrobcem. Tyto hodnoty jsou uvedeny již dříve v této práci, a to v kapitolách 1.3.2 a 1.3.3. Pokud je třeba stanovit odpor pro určitou délku vedení, je zde pro výpočet tohoto odporu použito následujícího vztahu:

$$R_v = \frac{R_{\text{km}}}{1000} \cdot l \text{ (}\Omega\text{)} \quad (4)$$

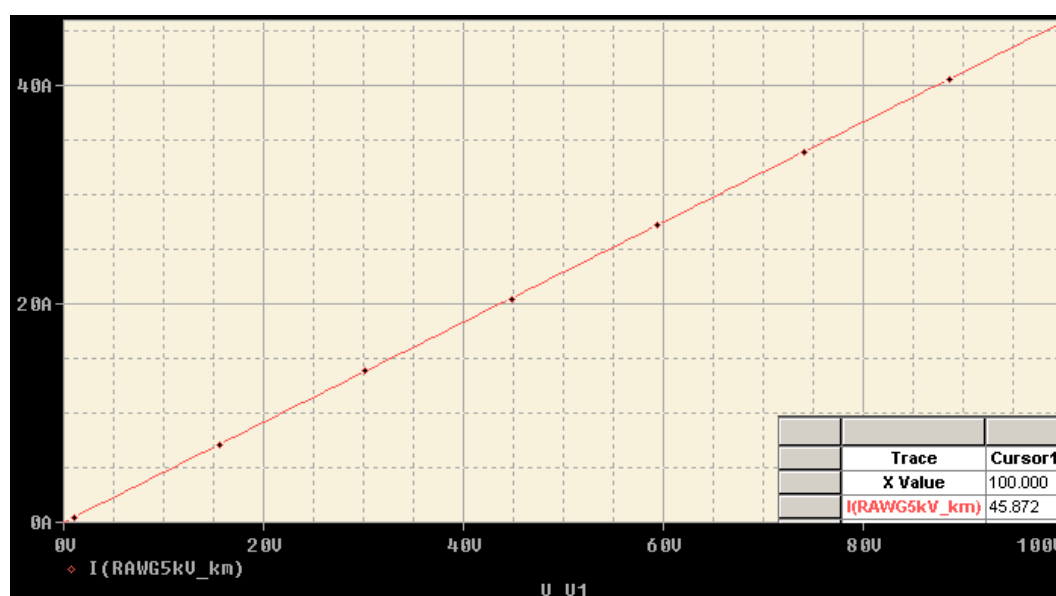


Obr. 2.9: Simulační model odporu primárního vedení kabelu AWG 5kV o délce 1 km

Model odporu vedení je simulován opět pomocí analýzy DC Sweep, kdy je tento model připojen na zdroj stejnosměrného napětí, které je postupně zvyšováno. Protože odpor je lineární prvek lze napětí v simulaci zvyšovat teoreticky až do nekonečna. Pro ukázkou a ověření funkčnosti modelu je toto napětí nastaveno do 100 V. Z Ohmova zákona pak vychází, že na odporu s hodnotou 2,18 Ω bude protékat proud 45,872 A.



Obr. 2.10: Zapojení a nastavení simulace odporu vedení kabelu AWG 5kV



Obr. 2.11: VA charakteristika simulačního modelu odporu vedení kabelu AWG 5kV

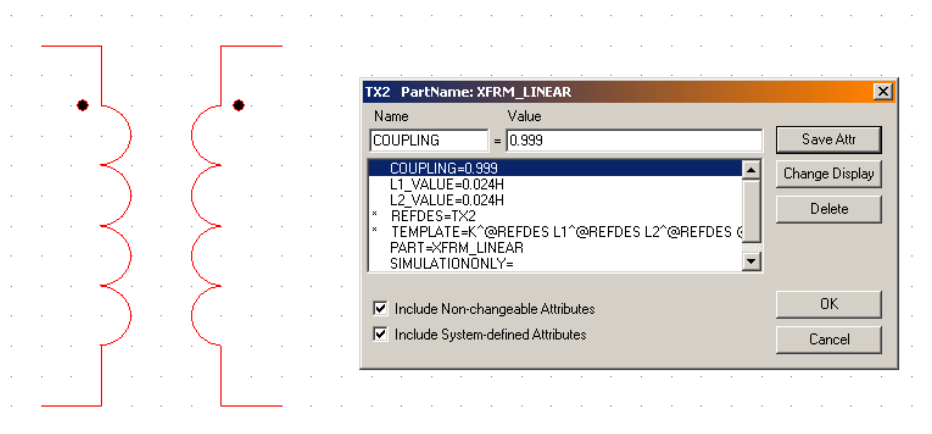
Průběh simulace na modelu odporu je k vidění na obrázku 2.11. Z něj je vidět že při rostoucím napětí na odporu se lineárně zvyšuje i proud, který jím vede. Při napětí 100 V je pak proud opravdu roven vypočtenému proudu 4,872 A.

2.2.3 Oddělovací transformátor

Pro modelování této části SZZ je použito opět součástky (prvku) z knihoven PSpice Schematics. Opět pro zjednodušení modelu je zvolen lineární transformátor. Protože je tento transformátor vyráběn pro malé výkony se jmenovitým proudem 6,6 A a převodový poměr mezi primárním a sekundárním vinutím je 1, jsou na obou vinutích stejné indukčnosti, ty se

pohybují v řádech desítek mH. Poměr 1:1 je dán tak, že na obou vinutích je zadána stejná indukčnost. Pro příklad je zvolen oddělovací transformátor o jmenovitém výkonu 150 W, který má podle katalogu firmy EFLA indukčnost 24mH.

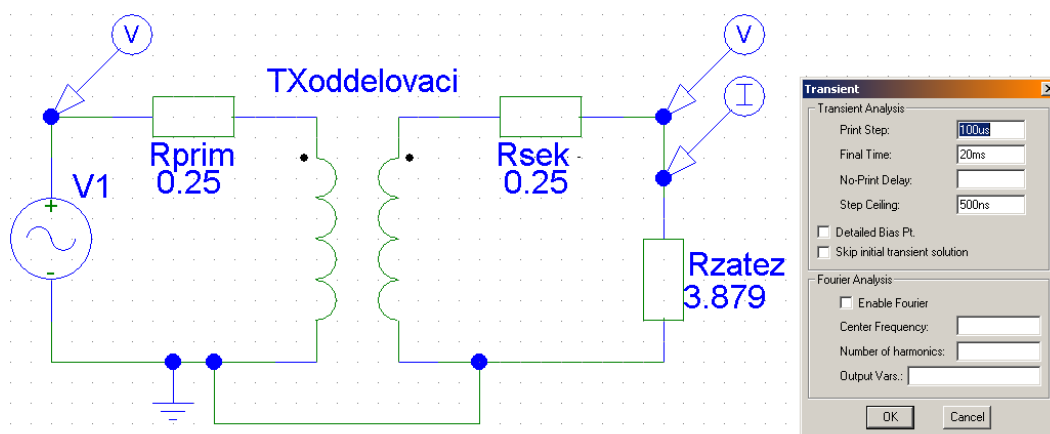
Opět pro jednoduchost simulačního modelu byla u oddělovacího transformátoru zanedbávána hodnota odporu vinutí jak na primárním, tak u na sekundárním vinutí. Z následujících důvodů simulačního programu bylo ovšem tento odpor na obou stranách vinutí nutno dodat (jinak se nedokáže spustit simulátor). Proto bylo provedeno měření na oddělovacím transformátoru (s jmenovitým výkonem 150 W) pomocí multimetru, kterým byl změřen odpor vinutí. Při tomto měření byla hodnota odporu 0,25 Ω . Tento odpor byl stejný jak na primárním, tak i na sekundárním vinutí oddělovacího transformátoru.



Obr. 2.12: Simulační model oddělovacího transformátoru KR646 150W

Oddělovací transformátor i s hodnotami odporů vinutí je na své primární straně připojen na sinusový zdroj s nastavenými parametry napětí 28,9V (proto aby na zátěži bylo 6,6 A) a frekvencí 50 Hz. Jako zátěž je zde připojen odpor o hodnotě 3,879 Ω . Ten z důvodu náhrady halogenové žárovky (Narva 6392LL 150 W), která má právě tuto hodnotu odporu, když jí prochází jmenovitý proud 6,6 A.

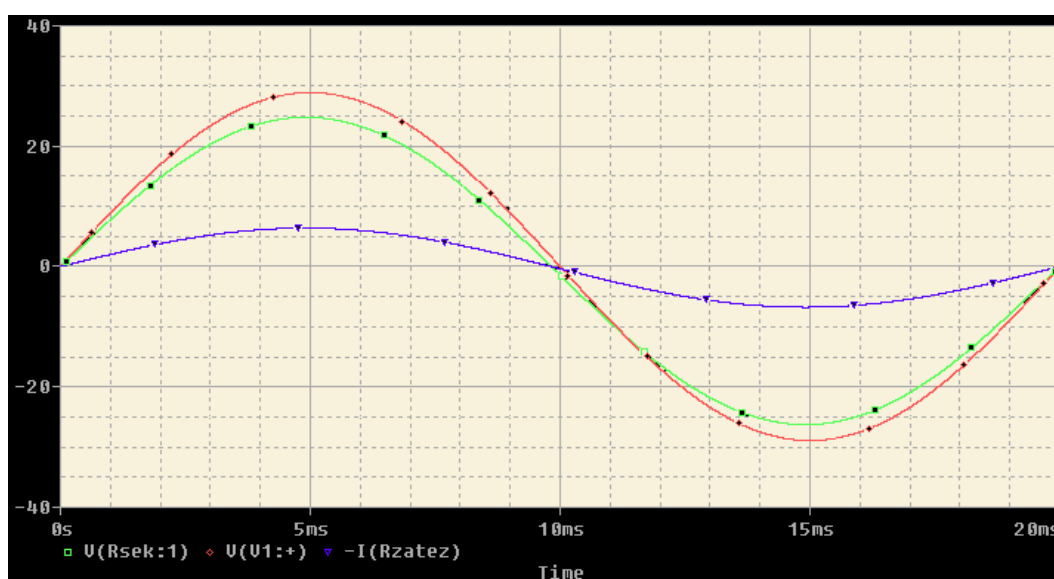
Samotná simulace je provedena pomocí analýzy Transient, v češtině se dá mluvit o této analýze jako o analýze časové. Která byla nastavena s časem trvání simulace 20 ms, tedy po dobu trvání jedné periody, a krokem 100 μ s.



Obr. 2.13: Zapojení a nastavení simulace oddělovacího transformátoru KR646 150 W

Výsledek simulace je vykreslen na obrázku 2.14, kde jsou zaznamenány průběhy napětí sinusového zdroje ($V(V1: +)$), napětí na zátěži ($V(Rsek:1)$) a průběh proudu na sekundární straně oddělovacího transformátoru protékající zátěží ($I(Rzatez)$). Hned na první pohled je vidět, že napětí na zátěži je oproti napětí na sinusovém zdroji menší. To je způsobeno úbytkem napětí na odporech definující odpor primárního a sekundárního vinutí. Kromě tohoto faktu je zde dále vidět, že vstupní napětí na transformátoru předbíhá proud protékající zátěží, dochází tedy k fázovému posunu mezi napětím a proudem. To je způsobeno právě indukčností samotného oddělovacího transformátoru. Nejlépe je tento posun vidět z obrázku 2.14 v okolí času 10 ms, kdy dochází k posunu mezi napětím a proudem o 16ms. Obecně jsou velikosti fázového posunu určeny frekvencí a vlastnostmi prvků zapojených do obvodu.

(16)

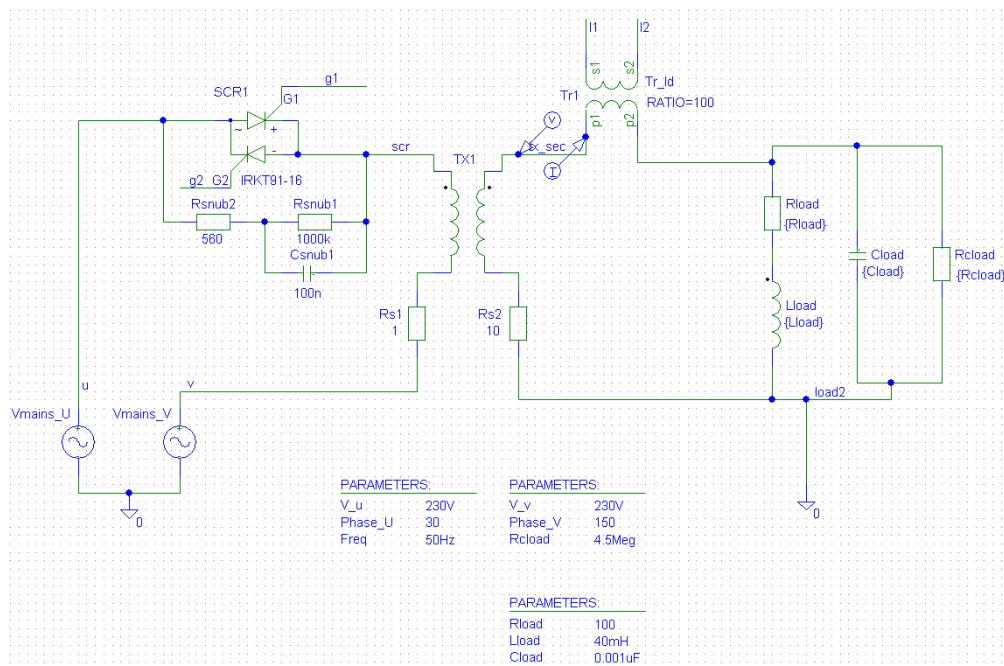


Obr. 2.14: Simulace oddělovacího transformátoru KR646 150W

2.2.4 Regulátor konstantního proudu

Největším simulačním modelem celé této práce je právě tento CCR, který je sestaven podle dostupné dokumentace a schémat poskytnutých firmou TRANSCON (celkový simulační model CCR i s řídicí elektronikou je uveden v příloze této práce). Model je však oproti reálnému zapojení v některých částech nahrazován jednoduššími součástkami a bloky, a to z důvodu, že např. nelze v programu PSpice Schematics 16.3 vytvořit jednočipový počítač, z něhož dostává reálný regulátor informaci o hodnotě efektivního proudu požadované na jeho výstupu. Navíc mít takto obsáhlé simulační schéma zahrnuje v sobě i nutnost více času na tuto simulaci. S již takto zjednodušeným modelem CCR simulace trvá několik desítek hodin.

Na obrázku 2.15 je zobrazena výkonová část modelu simulačního modelu CCR, kde je vidět propojení dvou zdrojů fázových napětí (V_{mains_U} , V_{mains_V}), jež jsou vůči sobě fázově posunuta o 120° . Vzniká tak sdružené napětí z distribuční sítě, které je přivedeno na vstup CCR, principiálně tvořený dvěma antiparalelně spojenými tyristory zapojenými v sérii s primárním vinutím výkonového transformátoru CCR. Tyristory jsou fázově řízeny řídicím obvodem podle požadované hodnoty výstupního proudu CCR. Propouštějí „vyseknutou“ část sinusové vlny sdruženého napětí na primární vinutí transformátoru TX1. Každý z tyristorů se otevírá pouze v jedné půlvlně sinusového průběhu, a to v té, v níž je napětí mezi jeho anodou a katodou kladné (propustný směr). Toto rozhodnutí, zda je v daném okamžiku tyristor v propustném nebo naopak v závěrném směru zajišťuje řídicí elektronika, která rozeznává náběžné hrany sinusové vlny jak pro kladnou, tak i zápornou periodu. Na sekundární straně transformátoru TX1 je umístěn měřicí transformátor proudu Tr1 s převodovým poměrem 100. Jeho výstup slouží jako zpětná vazba pro řídicí obvod. Ten zareaguje na změřenou hodnotu výstupního proudu, která je převedena na efektivní hodnotu, zmenšením nebo zvětšením úhlu otevření tyristorů tak, aby výsledná efektivní hodnota tohoto proudu byla konstantní a rovna požadované.



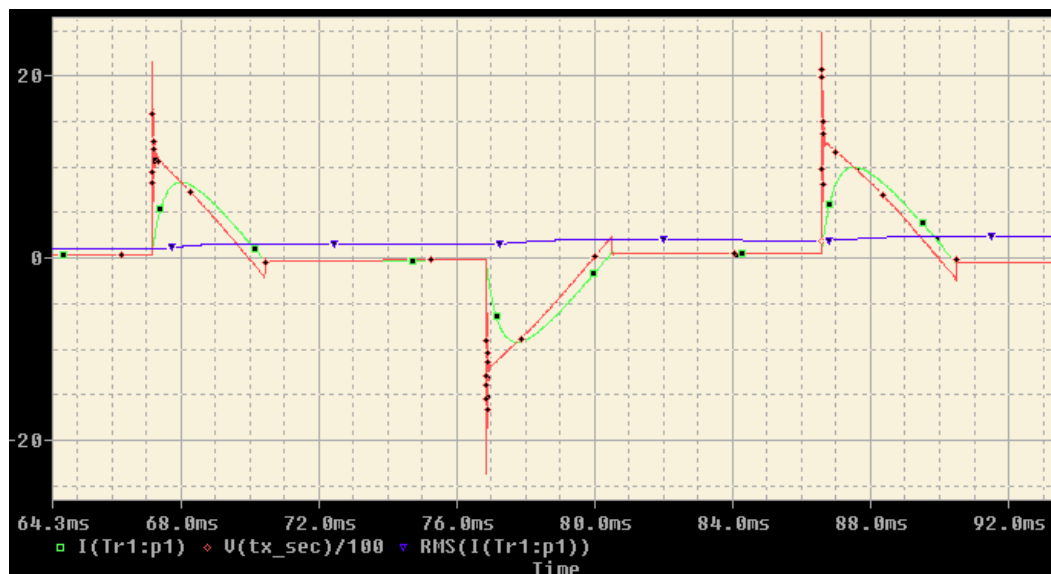
Obr. 2.15: Výkonová část modelu regulátoru konstantního proudu

2.3 Simulace regulátoru konstantního proudu s induktivní zátěží

Samotná simulace je provedena opět pomocí analýzy Transient, jako tomu bylo a simulace oddělovacího transformátoru. Která byla nastavena s časem trvání simulace 8 s, Takto zvolený čas je z důvodu, že v tomto čase už bezpečně dochází k ustálené hodnotě efektivního proudu na výstupu z výkonového transformátoru, který byl požadován. Na obrázku 2.16 je však zobrazen jen malý časový úsek této simulace pro názornost funkce simulačního modelu.

K simulačnímu modelu je k výstupu ze sekundárního vinutí výkonového transformátoru připojena zátěž, složená z odporů, cívky a kondenzátoru viz. obrázek 2.15. Tato zátěž se bude chovat převážně jako zátěž induktivního charakteru díky zvoleným parametrům na jednotlivých součástkách. To znamená, že v době otevření tyristorů do transformátoru TX1 začne protékat proud, který je ovlivněn induktivní složkou zátěže. Ta se projevuje tak, že při skoku napětí (při otevření tyristoru) začne okamžitě růst proud, ale neporoste „kolmo“ k časové ose, jako je tomu u napětí, ale se sklonem, což je právě vlivem indukčnosti zvolené zátěže. Zároveň je vidět, že v době sepnutí tyristorů (jejich otevření) dochází vlivem zvolené zátěže k silnému kmitání na napětí, které je ale rychle utlumené. Pokud by byla tato zátěž čistě odporového charakteru, bude tento proud růst při otevření tyristorů stejně „kolmo“, jako je tomu v případě napětí. Přítomnost induktivního charakteru zátěže je dále potvrzena

faktem, že napětí předbíhá proud na výstupní smyčce. Z obrázku 2.16 je tento stav vidět kdy napětí prochází nulou, ale proud ještě zátěží protéká. Teprve až tento proud klesne k nule dojde k uzavření tyristoru a napětí taktéž klesne k nule.



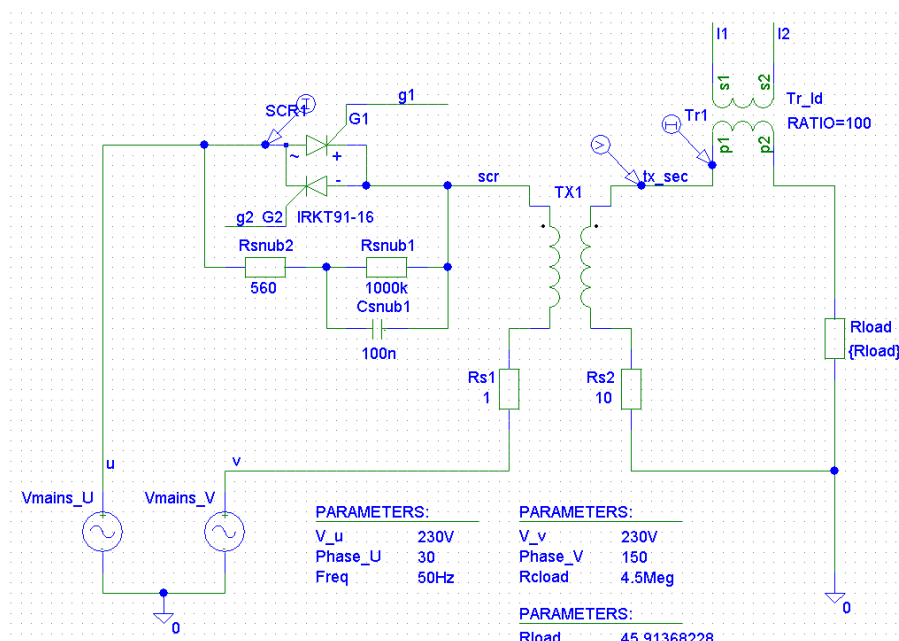
Obr. 2.16: Výstup regulátoru konstantního proudu se zátěží induktivního tvaru

Pro ukázkou funkčnosti simulace je hodnota napětí na výstupu výkonového transformátoru podělena stem, kvůli vhodnému měřítku pro prozkoumání tvarů průběhů.

2.4 Simulace regulátoru konstantního proudu s odporovou zátěží

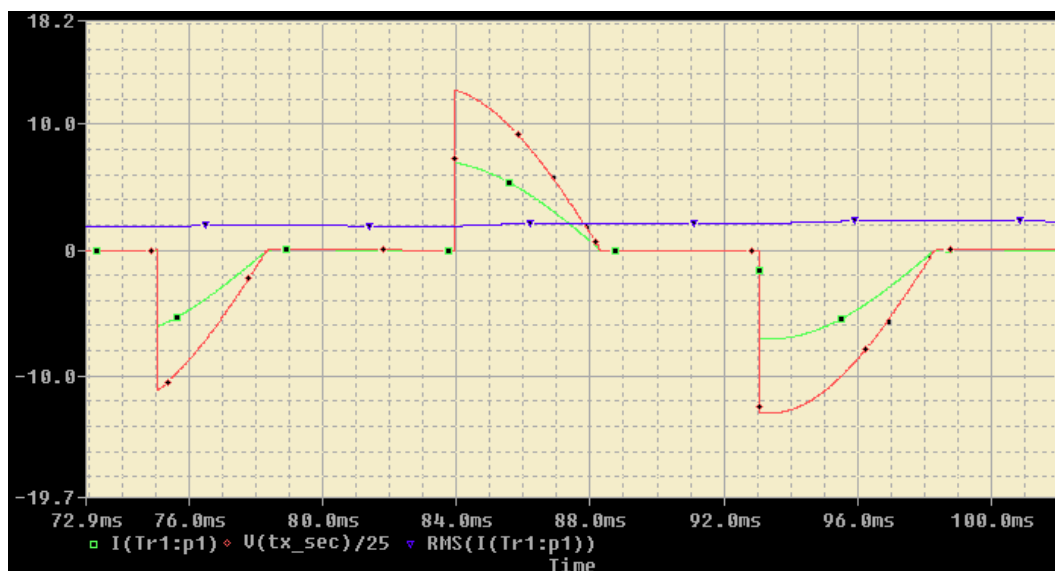
Tato simulace proběhla na stejném simulační modelu CCR jen s rozdílem, že na výstupu z výkonového transformátoru byla připojena čistě odporová zátěž.

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, se zátěží čistě odporového charakteru (když nebereme v potaz samotnou indukci výkonového a měřicího transformátoru), bude tento proud růst při jednotlivém otevření tyristorů stejně „kolmo“, jako je tomu v případě napětí. Nedochází zde ani k fázovým posunům mezi napětím a proudem. Tudíž ve stejný okamžik, kdy napětí prochází nulou, přestane protékat proud na výstupní smyčce transformátoru neboli zátěží.



Obr. 2.17: Výkonová část modelu regulátoru konstantního proudu s odporovou zátěží

Simulace je provedena stejným způsobem jako v předešlé kapitole 2.3, která byla nastavena s časem trvání simulace 8 s. Na obrázku 2.18 je však zobrazen opět jen malý časový úsek této simulace pro názornost. Pro ukázkou funkčnosti simulace je hodnota napětí na výstupu výkonového transformátoru podělena 25, kvůli vhodnému měřítku pro prozkoumání tvarů průběhů.



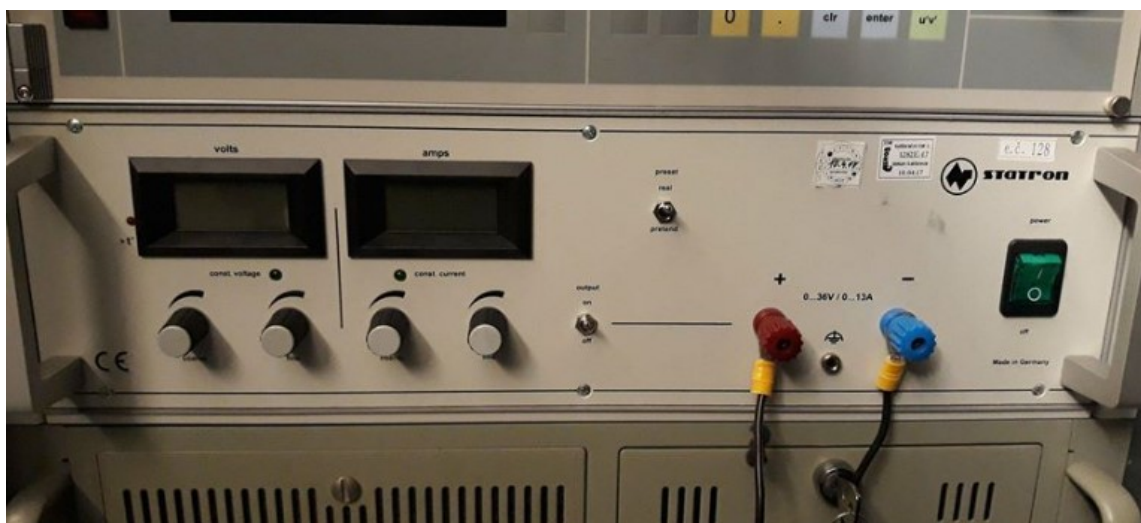
Obr. 2.16: Výstup regulátoru konstantního proudu s odporovou zátěží

3 Simulace v programu PSpice a porovnání výsledků s daty reálného měření

Za pomoci programu PSpice Schematics 16.3 jsem za použití osobního počítače, vytvořil simulační modely a současně i prováděl měření na reálném světelném zdroji osazeném vybranou halogenovou žárovkou. Pro vyloučení náhodné chyby (nestandardní provedení halogenové žárovky) jsem tato reálná měření prováděl na sérii pěti náhodně vybraných halogenových žárovkách stejného typu a provedení (výrobce, wattáže a tvaru).

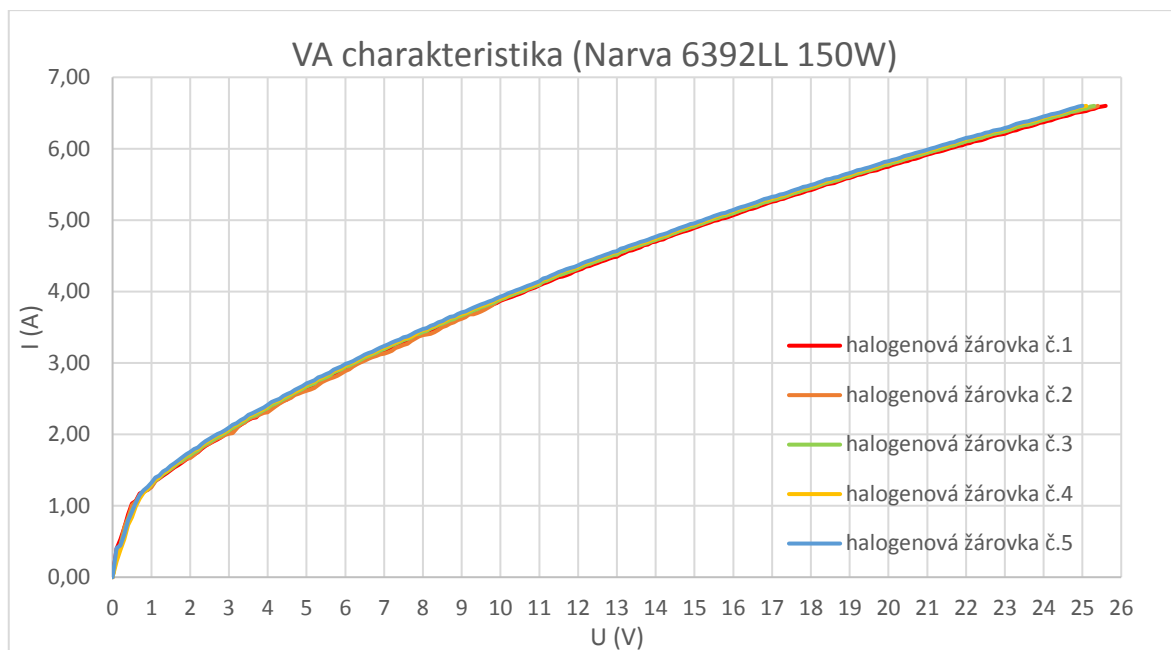
3.1 Průběh reálného měření VA charakteristiky na světelném návěstidle

Toto měření proběhlo v prostorách zkušebního pracoviště firmy TRANSCON na stejnosměrném zdroji značka STATRON viz. obrázek 3.1. Na tomto zdroji byly postupně připojeny halogenové žárovky s číselným označením 1 až 5 a na zdroji bylo postupně zvyšováno napětí od nuly do napětí, kdy bylo dosaženo jmenovitého proudu procházejícího halogenovou žárovkou o velikosti 6,6 A.



Obr. 3.1: Stejnosměrný zdroj značky STATRON

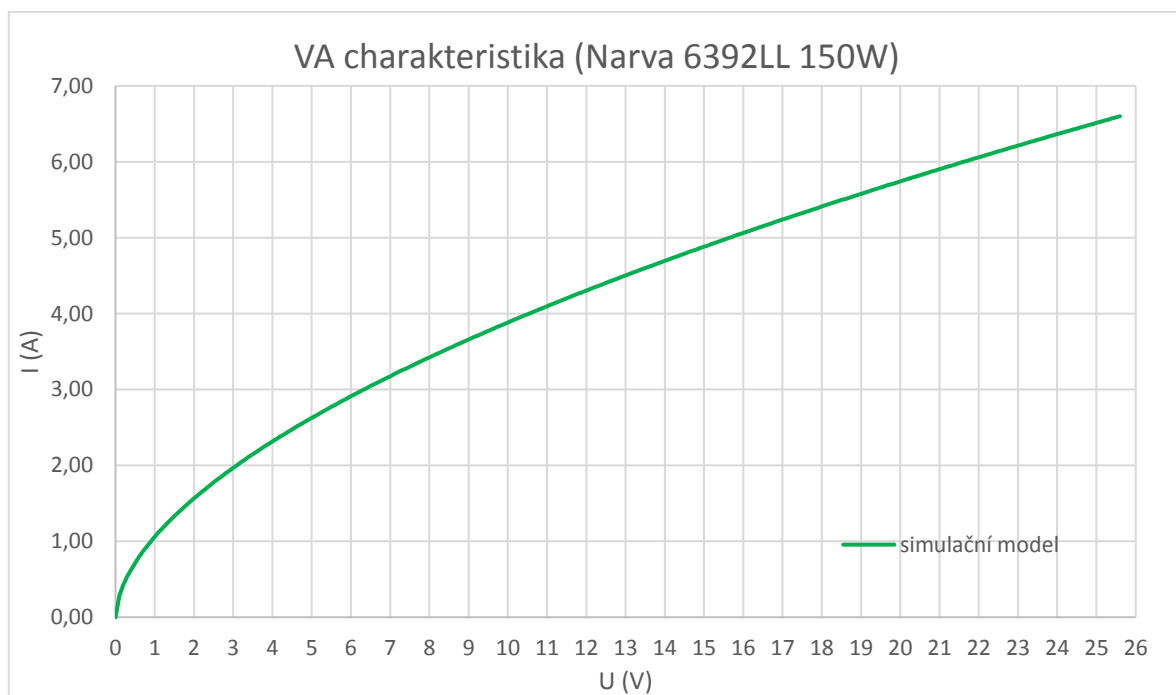
Pro vyloučení nahodilé chyby nebo výrobní vady halogenové žárovky umístěné ve světelném zdroji bylo použito pěti halogenových žárovek od výrobce Narva s typovým označením a wattáží 6392LL 150 W. Změřené hodnoty byly zaneseny do tabulky, která je součástí přílohy na CD nosiči, a přeneseny do grafu, který je vidět na obrázku č. 3.2. V něm je vidět, že všechny vybrané halogenové žárovky se vůči sobě liší, avšak s velmi malými odchylkami (v setinách A proudu). Není to však nic výrazného.



Obr. 3.2: VA charakteristiky měřených halogenových žárovek Narva 6392LL

3.2 Průběh simulace VA charakteristiky

Do programu Microsoft Excel byly exportovány data VA charakteristiky, která byla získána za pomoci simulačního modelu halogenové žárovky viz. simulace v kapitole 2.2.1.



Obr. 3.3: VA charakteristiky simulované halogenových žárovek Narva 6392LL

3.3 Porovnání výsledků simulace a reálného měření

Z výsledků obou výše uvedených grafů jasně vyplývá, že VA charakteristiky, jak reálného měření, tak i simulace jsou téměř shodné. Nepatrné rozdíly jsou však v oblasti od nulového proudu až po hodnotu proudu 2,8 A, kdy je definován první stupeň svítivosti. Tento fakt lze ovšem zanedbat z důvodu, že tato oblast není nikterak důležitá pro praktické využití v provozu letištních návěstidel (z pohledu svítivosti). V závěru lze tedy simulační model vybrané halogenové žárovky pokládat za vhodný pro případnou další práci s tímto modelem, jako je např. propojení s modelem oddělovacího transformátoru.

4 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo popsání a seznámení se se stávajícím řešením světelných zabezpečovacích zařízení letišť. To je provedeno v první kapitole. Je zde zmínka o historii těchto zabezpečovacích zařízení, od nichž se dále vyvíjí letecké předpisy Annex 14 vytvářené Mezinárodní organizací pro civilní letectví, u kterých zajišťuje převod do českého zákonodárství Ministerstvo dopravy pod názvem L14/L14H.

Z těchto předpisů vychází samotný popis jednotlivých světelných soustav. Při jejich popisu je kladen důraz na funkci, barvu a umístění těchto soustav po ploše letiště.

Systém napájení světelných soustav je rozdělen na napájecí zdroj světelných soustav, kterým je 3 nebo 5 stupňový regulátor konstantního proudu a na oddělovací transformátory. Ty zajišťují, že i po výpadku jednoho nebo více návěstidel na straně sekundárního vinutí oddělovacího transformátoru nedojde na straně primárního vinutí k přerušení přívodu proudu na další návěstidla stejného sériového obvodu.

Je provedena úvaha nad možnostmi použití technologie LED v návěstidlech SZZ z pohledu podobnosti VA charakteristiky, charakteristiky závislosti intenzity osvětlení na velikosti proudu mezi halogenovou žárovkou a LED. Dále jsou uvedeny změny na stávajícím SZZ, které by umožnily použití LED v návěstidlech. Jsou zde uvedeny i výhody a nevýhody této LED technologie, které by tato inovace sebou nesla.

V druhé kapitole je provedeno seznámení se simulačním programem PSpice a jeho podprogramem PSpice Schematics 16.3. Zde je popsána pracovní plocha a základní práce s tímto programem ohledně vytvoření simulačních obvodů.

Následně jsou vypracovány simulační modely nejdůležitějších komponent SZZ, jako jsou halogenové žárovky, primární a sekundární vedení, oddělovací transformátory a regulátor konstantního proudu. Tyto modely jsou založeny buďto na parametrech získaných od výrobce nebo jsou získány měřením a případnou simulací v počítačovém programu, jako je tomu např. u halogenové žárovky v kapitole 2.2.1.

Pro vybranou část světelného zabezpečovacího zařízení (halogenovou žárovku ve světelném návěstidle) je provedeno porovnání výsledku ze simulace a výsledků získaných reálným měřením na skutečném prvku. Měření s reálnou žárovkou bylo provedeno hned na pěti kusech pro vyloučení náhodné chyby.

Směr dalšího řešení lze spatřit v pokračování práce na vylepšení simulačních modelů, zejména pak těch, které tvoří zátěž pro CCR. Ty pak bude možné zapojit do virtuálních smyček analogicky, jako jsou zapojené reálné prvky na letištních plochách a pokusit se najít jejich nastavení tak, aby výsledkem simulací byly co nejlepší výsledky (výsledky, které se co nejvíce přibližují reálnému provozu). Díky tomu by např. projektanti mohli mít možnost ověřit si před samotnou stavbou smyčky na letištích pomocí simulace, že jimi navržená konfigurace všech součástí SZZ je vyhovující, a že např. výstupní výkon CCR je pro danou smyčku návštěvnicků dostatečný.

Seznam literatury a použitých zdrojů

- (1) hassaank | navigationparameters. navigationparameters [online]. Copyright © [cit. 15.01.2018] Dostupné z: <https://navigationparameters.wordpress.com/author/hassaank/>
- (2) Cuyahoga County Airport History – Cuyahoga County Department of Public Works. *Cuyahoga County Department of Public Works*[online]. Copyright © 2018 [cit. 03.03.2018] Dostupné z: <http://publicworks.cuyahogacounty.us/en-US/airport-history.aspx>
- (3) Annex 14 ICAO (English Version). *Share and Discover Knowledge on LinkedIn SlideShare* [online]. Copyright © 2018 [cit. 15.03.2018]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/hronaldo10/annex-14-icao-english-version>
- (4) RADIONAVIGATIONAL EQUIPMENT AT THE AIRPORT cpt. Ing. Milan HANZLÍČEK ppt download. [online]. Copyright © 2018 SlidePlayer.com Inc. [cit. 04.02.2018]. Dostupné z: <http://slideplayer.com/slide/3955545/>
- (5) AERODROME DESIGN MANUAL Part 4 Visual Aids | Guille Rc - Academia.edu. [online]. Copyright ©2018 [cit. 15.04.2018]. Dostupné z: http://www.academia.edu/23692172/AERODROME_DESIGN_MANUAL_Part_4_Visual_Aids
- (6) Katalog – Letiště a heliporty. *Document Moved* [online]. Copyright © 2016 [cit. 17.04.2018]. Dostupné z: <https://www.transcon.cz/cz/pdf-catalog>
- (7) Laser Guidance: LED PAPI Systems. Laser Guidance Airfield Lighting [online]. Copyright © 2016 Laser Guidance, Inc. All rights reserved. [cit. 03.02.2018]. Dostupné z: <http://www.laserguidance.com/papi.html>
- (8) Document Moved [online]. Copyright ©X [cit. 05.02.2018]. Dostupné z: <https://www.transcon.cz/cz/docman-list/catalog/czech/energeticke-systemy/53-03-01-00-regulatory-tcr/file>
- (9) Bird Control Italy Srl [online]. Copyright © [cit. 02.02.2018]. Dostupné z: <http://birdcontrol.it/normative/doc%209157/DOC%209157%20part%205.pdf>

- (10) AGL Transformers for Series Circuits | Efla. *Airfield lighting components and services* | Efla [online]. Copyright © 2018 EFLA Oy. All rights reserved. [cit. 07.05.2018]. Dostupné z: <https://www.efla.net/products/agl-transformers-for-series-circuits>
- (11) *Document Moved* [online]. Copyright © [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: <https://www.transcon.cz/cz/docman-list/catalog/czech/prislusenstvi/151-cz-07-01-00-cabels/file>
- (12) *KABELWERK EUPEN AG* [online]. Copyright ©PR [cit. 08.05.2018]. Dostupné z: https://www.eupen.com/weimages/airfield/primary_cables/FAA-L-824_TypeC_copper_tape_screened.pdf
- (13) Inteligentní řízení LED osvětlení. *Aktuálně na DPS* [online]. Copyright © 2018 DPS Elektronika od A do Z. [cit. 16.05.2018]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:12011/inteligentni-rizeni-led-osvetleni>
- (14) KOLKA, Zdeněk. *Modelování a simulace pomocí PSpice*. Brno: Tribun EU, 2011. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-293-4.
- (15) SPICE model žárovky | Vývoj.HW.cz. *Vývoj.HW.cz | Vše o elektronice a programování* [online]. Copyright © 1997 [cit. 04.05.2018]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/spice-model-zarovky.html>
- (16) Radek Jandora. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © [cit. 11.05.2018]. Dostupné z: <http://www.radek.jandora.sweb.cz/f17.htm>

Seznam příloh

- Příloha A Schéma rozmístění světelných návěstidel po ploše letiště
- Příloha B Simulační schéma regulátoru konstantního proudu
- Příloha C Tabulka změřených VA charakteristik halogenových žárovek
Narva 6392LL 150 W (pouze na CD)